

Slutrapport

BIODRIVMEDEL FRÅN SNABBVÄXANDE LÖVTRÄD

En syntesstudie från råvara till drivmedel

Mars 2022

Henrik Böhlenius

Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap

Marcus Öhman, Fredrik Granberg och Thomas Hannl

Luleå tekniska universitet, (LTU) Institutionen för teknikvetenskap och matematik

Per-Ove Persson

Persson f.N.B. AB.

FÖRNYBARA DRIVMEDEL OCH SYSTEM 2018-2021

Ett samverkansprogram mellan Energimyndigheten och
f3 Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel

FÖRORD

Detta projekt har genomförts inom ramarna för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system, projektnummer 50468-1. Projektet har finansierats av Energimyndigheten och f3 – Svenskt kunskapscentrum för förnybara drivmedel.

Energimyndigheten arbetar på regeringens uppdrag med energiomställningen till ett modernt, hållbart, fossilfritt välfärdssamhälle och stödjer forskning om förnybara energikällor, smarta elnät och framtidens fordon och bränslen.

f3 är en nätverksorganisation som fokuserar på utveckling av miljömässigt, ekonomiskt och socialt hållbara förnybara drivmedel. f3 finansieras gemensamt av centrets parter och Västra Götalandsregionen. Chalmers Industriteknik fungerar som värd för centret. Kansliet vid f3 utgör programkansli för samverkansprogrammet Förnybara drivmedel och system. (se www.f3centre.se)

Projektgruppen utgörs av docent Henrik Böhlenius vid Sveriges Lantbruksuniversitet (SLU) med tio års forskningserfarenhet av skötsel och produktionsfrågor kring poppelodling. Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap vid SLU är ledande inom forskningen kring snabbväxande lövträd, vilket gör att resultaten ligger i forskningsfronten.

Agronom Per-Ove Persson har arbetat med förnybara drivmedel och skog inklusive energiskog sedan 1980-talet och har erfarenhet av beskogning av jordbruksmark från bl.a. omställning 90 och anläggning av försöksplanteringar. Per-Ove Persson har arbetat med olika aspekter på förändringar av markanvändning, genomfört fältvandringar och arbetat med olika fastbränslen, biogas och vegetabilisk olja. Han introducerade en traktor med Elsbett-Motor i Sverige som kunde drivas bl.a. med kallpressad rapsolja till Hushållningssällskapets försöksverksamhet.

Professor Marcus Öhman, Luleå tekniska universitet (LTU) har mer än 25 års erfarenhet av FoU-arbete inom området termokemisk konvertering av biomassa inklusive askrelaterade problem, bränslekaraktärisering, karakterisering av förbränning/förgasning.

Thomas Hannl, doktorand inom ämnet energiteknik vid LTU. Hans forskning berör askrelaterade processer vid dubbelbäddsförgasning av slam med särskild inriktning mot P-återvinning.

Projektledare Fredrik Granberg, LTU, har arbetat i över 15 år med förgasningsbaserad biodrivmedelsproduktion.

En referensgrupp har varit knuten till projektet med medlemmar från Norra Skog, Jordbruksverket, Höganäs, Skogsällskapet, Preem och privat markägare.

Denna rapport ska citeras enligt följande:

Böhlenius H., et. al., (2022) *Biodrivmedel från snabbväxande lövträd - en syntesstudie från råvara till drivmedel*, Rapport nr FDOS 36:2022. Tillgänglig på <https://f3centre.se/sv/samverkansprogram/>

SAMMANFATTNING

Poppel är ett under svenska förhållanden snabbväxande trädslag med mycket stor produktionspotential och möjlighet att fungera som råvara för framställning av drivmedel. Avgörande för att prognostisera biomassaflödet från poppelodlingar till möjliga biodrivmedelindustrier är kunskap om produktionskapaciteten vid olika odlingsförhållanden (åkermark, beskogad åkermark och skogsmark), samt placeringen (klimatförhållanden) på tillgängliga arealer. En annan avgörande faktor är produktionskostnaderna för biomassan och dess fysikaliska egenskaper som avgör lämpligheten för omvandling till drivmedel.

Omvandling av biomassa till drivmedel kan göras med olika tekniker. Förgasning är en beprövad teknik som lämpar sig speciellt bra för träråvaror. Det som saknats är en beskrivning av hela kedjan från produktionspotential till färdig produkt: Biomassaproduktion – processteknik – ekonomi – drivmedel, vilket beskrivs i detta projekt. Resultaten visar på en realistisk möjlighet för framställning av drivmedel från snabbväxande löv och som i dag är redo för implementering.

Projektets resultat visar att poppel har en hög produktionskapacitet i likande nivåer med andra europeiska studier, men att produktionen varierar beroende på odlingsförhållanden och klimatlägen. På åkermark ligger produktionen på liknande nivåer för södra och mellersta Sverige, omkring 8,4 ton TS (torrsubstans) per hektar och år, medan den i norra Sverige (undantaget växtzon 7 och 8) ligger på omkring 6 ton TS per hektar och år. Kunskapen om produktionen vid planteringar på tidigare beskogad åkermark (södra Sverige) tyder på en medeltillväxt på omkring 6 ton TS per hektar och år efter ca tio års tillväxt. Detta är troligen en underskattning eftersom medeltillväxten efter tio år ökar.

I Sverige finns det mycket goda förutsättningar att storskaligt odla poppel eller andra snabbväxande lövträd som biomassabas till drivmedel. Totalt finns det ca 478 000 hektar öppen mark som inte används till livsmedelsproduktion och drygt 8 000 000 hektar skogsmark med en bördighet över 5.5 skogskubikmeter per hektar och år. I skogsmarken återfinns åkermark som beskogats under de senaste 80–100 åren med en areal på ca 1 100 000 ha. Åkermarken finns huvudsakligen i jordbruksregioner som Skåne, Västra Götaland, Mälardalen och Östergötland.

Ett liknande mönster syns för den beskogade åkermarken men arealerna är generellt betydligt större. Beskogad åkermark inom odlingszon 1–6 återfinns framför allt i Götaland och Svealand medan det endast finns mindre arealer i norra Sverige. Det troliga är att endast en viss andel av marken kan användas för att odla snabbväxande lövträd. Givet ett nyttjande på 25 % av åkermarken samt 5 % av den bördiga skogsmarken (där beskogad åkermark ingår), kan poppelodlingar generera ett kraftigt tillskott av biomassa. Som exempel skulle 510 000 respektive 220 000 ton TS kunna skördas årligen i länen Västra Götaland respektive Skåne.

Produktionskostnaden och det ekonomiska utfallet för biomassaodling av poppel är beroende av direkta kostnader i samband med start av odlingen, samt kapitalkostnader, biomassaproduktionen och omloppsperioden för odlingen och priset på biomassan. Kapitalkostnaden vid 4 % ränta inklusive avskrivning för att etablera odlingen uppgår till drygt 60 % av kostnaden. En kostnadspost som troligen kan minska vid en mer etablerad och utvecklad produktion är plantor och plantering, som uppgår till ca 24 % av etableringskostnaden. Denna kostnad är nästan dubbel jämfört med konventionell skogsplantering av gran. Övriga kostnader, ca 16 % som representerar markbehandling och

viltskydd av plantor, är mycket platsbundna och därmed osäkra i en kalkyl. Lönsamheten ökar snabbt vid ökat pris per MWh biomassa. En möjlig framtida intäktspost är intäkt för inlagrad mängd koldioxid som uppgår till ca 1,7 kg per kg TS i biomassan plus det som inlagras i mark. Skillnaden mellan stamformad biomassaproduktion från exempelvis poppel och andra energigrödor t.ex. salix är att odlingen kan utnyttja mycket små arealer samt att skörd kan integreras i den nuvarande maskinparken för skogsbruk.

Bränslesammansättningen/karaktäristiken hos poppelråvaran producerad utifrån olika skogsskötselprogram och uttagsprocesser har analyserats och utvärderats. Utifrån bränslesammansättningen och kompletterande termokemiska modellberäkningar jämfördes poppelns förgasnings-/förbränningskaraktäristik med andra mer kända bränslens egenskaper. Särskilt beaktades poppelns askkemiska egenskaper då askans beståndsdelar skiljer sig mot ordinarie stamvedsbaserad skogsråvara.

De studerade poppelfraktionerna/proverna har liknande värmevärde, flykthalt, kol-, väte-, och syrehalt som stamved/sågspån. Därmed har poppel troligen liknande bränsleomvandlingsbeteende för den brännbara substansen som den hos traditionell barrstamved. Ask-, kväve- (N), svavel- (S) och klor (Cl) halterna hos de studerade poppelfraktionerna/-proverna liknar dem hos traditionella trädbränslen där stamvedsfraktionen har mycket låga halter och grot (grenar och toppar) - och barkfraktionerna har signifikant högre halter. Poppelprovernas bränsleaska domineras av kalcium (Ca), kalium (K) och till en viss mån fosfor (P). Kisel (Si) halterna är mycket låga, betydligt lägre än hos traditionella skogsbränslen och salix.

Resultaten från beräkningarna visar att ingen asksmälta påvisas vid de högre temperaturerna som är relevanta för medströmsförgasning vilket medför att en torr askhantering kan behöva eftersträvas vid 100 % poppelförgasning i medströmsförgasning. Resultaten visar också på förmodade låga slagningsrisker vid poppelförgasning i fast bädd. De relativt höga K-halterna i gasfas vid moderata och höga processtemperaturer jämfört med t.ex. sågspån, barrgrot och salix kan vara positivt då detta kan medge en snabbare och effektivare bränsleomvandling vid t.ex. medströmsförgasning. De ökade halterna av kaliumhydroxid (KOH) i gasfas kan dock ge negativa konsekvenser vad gäller större risk för korrosion av reaktorinfodring och interaktion/reaktion med bäddpartiklar i fluidbäddsförgasning som leder till bäddagglomering och bäddmaterialdeposition.

Det finns flera lämpliga teknikkoncept för att från poppel som biomassa framställa biodrivmedel. I projektet analyserades förgasning som ett möjligt beprövat processkoncept för framställning av biodrivmedel till reduktionsplikten för bensin, diesel och flygbränsle. Det finns även stor potential att producera biodrivmedel för sjöfart i form av metanol som redan har en efterfrågan för detta.

Projektet har visat att det isolerat till behovet av råvara finns ett flertal platser där anläggningar av en storlek av 160 000, 240 000 ton TS poppel per år kan placeras. Troligtvis finns behov av mer än en plats med en anläggningsstorlek om 443 000 ton TS per år.

En stor anläggning om 443 000 ton TS poppel/år skulle enligt beräkningarna, exklusive energi för upparbetning till slutliga produkter kunna bidra med: (teoretiskt om all poppel konverteras inom parantes)

- Om FT (Fischer-Tropsch - Bensin, Jet, Marin diesel), ~1,3 TWh, (9,4 TWh)
- Om Metanol, ~1,5 TWh, (10,8 TWh)
- Om Gasoline (MTG), ~ 1,2 TWh, (8,7 TWh)

Det finns relativt stora områden i södra Sverige där tidigare jordbruksmark planterats med framför allt gran. Här kan poppelodling berika landskapsbilden och ekologiska nischer.

Tillgång av en tillräcklig mängd bioråvara för att nå skalekonomi på en biodrivmedelsanläggning är avgörande för en lönsam anläggning. De bästa bioraffinaderiförutsättningarna med poppel som råvara finns enligt projektet i Västra Götaland samt östra Sverige, med centrum i Östergötland. I dessa regioner finns dessutom redan stor erfarenhet av poppelodling.

Projektet har visat att införandet av ett Bio-CCS (Bio Energy Carbon Capture and Storage) system med en erhållen intäkt för biobaserad koldioxid, avsevärt skulle förbättra lönsamheten.

För att maximera mängden produkt från en given mängd biomassa är ett extra vätgastillskott en möjlighet för att uppnå detta. Kolförlusterna, som koldioxid, är för de utvärderade koncepten under processandet av biomassa till produkter ca 50 %. Ett grönt vätgastillskott kan erhållas från elektrolys av vatten via förnybar el. Fullt nyttjat skulle denna kolförlust med tillskott av vätgas kunna omvandlas till produkter och mer än fördubbla mängderna från samma mängd biomassa. Detta skulle kräva stora mängder el och en beräkning vore intressant men ryms inte inom detta projekt.

Endast grova antaganden och beräkningar är gjorda för Bio-CCS systemets inverkan på produktpriset. En mer detaljerad analys av biodrivmedelsproduktion med kombinerad Bio-CCS jämfört med vätgasassisterad produktion anses vara ett intressant framtida steg.

Produktionsprisintervallet för de olika produkterna, 0,64–1,31 SEK per KWh kan jämföras med dagens marknadspris (22 december 2021), Preem & Circle K, för dieselpriis på ca 1,93 SEK per KWh och HVO 100 pris på ca 2,08 SEK per KWh vid pump. Marknadspriset innehåller eventuella skatter, handelsmarginaler, transporter och infrastrukturkostnader.

SUMMARY

For Swedish conditions, poplar is a fast-growing tree species with a large biomass production potential that can function as a raw material for domestic production of biofuel. The key to make prognoses of biomass flow from poplar plantations to possible bio-fuel industry is the knowledge of the production capacity at different cultivation conditions (agricultural land, afforested agricultural land, forest land and climate conditions). Another key factor is the total cost for biomass production and its physical properties, which determine the suitability for conversion to biofuel. Conversion of biomass to fuel can be done with various techniques, of which gasification is a proven technology that is particularly suitable for wood raw material. What is missing today, is a description of the entire chain from production potential to finished product. Biomass production - process technology - economy - fuel, an overall picture of the entire system from production to finished fuel, is described by the project (figure 1). The overall result shows a realistic possibility to produce fuel from fast-growing trees, which today is ready for implementation.

Our results show that poplar has a high production, similar to other European studies. However, the production varies depending on site conditions and climate conditions. On agricultural land, production is at similar levels for southern and central Sweden, about 8.4 tonnes DM (dry matter) per ha and year while in northern Sweden (excluding climate zones 7 and 8) about 6 tonnes DM per ha and year. The knowledge about the production at plantations on previously forested agricultural land (southern Sweden) indicates an average growth of about 6 tonnes DM per ha and year after about 10 years of growth. It should be mentioned that this production is measured after ten years of growth, thus, this is probably an underestimation of the mean production as annual growth, occurring after year ten tends to increase with age of the plantation.

In Sweden, there is a large possibility for large-scale plantations of poplar or other fast-growing trees species as raw material for biofuel. In total, there are approximately 478,000 ha of agricultural land (excluding land used for food production) and approximately 8,000,000 hectares of fertile forest land, were 1,100,000 ha, forested agricultural land (planted during the last 80-100 years) is included. The agricultural land is mainly found in agricultural intensive regions such as Skåne, Västra Götaland, Mälardalen and Östergötland. A similar pattern was also found for the forested agricultural land. However, these areas are significantly larger than the agricultural land. In addition, the fertile forest land is located in Götaland and Svealand, while in northern Sweden only small areas are found. In the future, the entire land area (including both agricultural and forest land) will not be planted but a certain percentage will be used. Although only a small proportion, i.e. 25% of the agricultural land and 5% of the fertile forest land will be used, these can generate large amounts of biomass. One example is that the counties of Västra Götaland and Skåne can produce 510,000 ton TS or 220,000 ton TS, yearly.

The production cost and the financial outcome for biomass cultivation of poplar are dependent on direct costs in connection with the start of cultivation, capital costs, biomass production and the circulation period for the cultivation and the price of the biomass. The capital costs, for establishing the plantation with the interest rate of 4% resulted in approximately 60% of the cost. The costs for seedlings and planting, which amounts to about 24% of the establishment cost, can probably be reduced, when the production is more established and developed, as it is almost double compared to conventional planting of spruce. Other costs, about 16% which represent soil treatment and game

protection of plants are very site-specific and thus associated with uncertainties. Profitability increases rapidly with increased price per MWh of biomass. A possible future revenue item is revenue for the stored amount of carbon dioxide, which amounts to approximately 1.7 kg per kg DM in the biomass including the storage in the soil. The difference between tree-shaped biomass production from, for example, poplar and other energy crops, such as salix is that cultivation can utilize very small areas and that harvesting can be integrated into the current machine park for forestry.

The fuel composition/-characteristics of the poplar raw material produced based on various forest management programs and extraction processes were analyzed and evaluated. Based on the fuel composition and supplementary thermochemical model calculations, poplar's gasification/ combustion characteristics were compared with the fuel characteristics of other more "known" fuels. In particular, the ash chemical properties of poplar were studied as the ashes' constituents differ from ordinary stem wood-based raw materials.

The poplar fractions/samples studied have a similar heating value, volatile-, carbon-, hydrogen- and oxygen content as softwood stem-wood/sawdust. Thus, poplar probably has similar fuel conversion behavior for the combustible substance as traditional softwood stem-wood. The ash, nitrogen (N), sulfur (S), and chlorine (Cl) levels in the studied poplar samples are similar to conventional wood fuels, i.e., where the stem-wood fraction has very low levels, and the branches and tops and bark fractions have significantly higher levels. The fuel ash of the poplar samples is dominated by calcium (Ca), potassium (K), and to a certain extent phosphorus (P). The silicon (Si) concentrations are very low, i.e., significantly lower than traditional forest fuels and salix.

The model calculations show that no ash melt is detected at the higher temperatures relevant for entrained flow gasification. This result suggests that dry ash handling may need to be sought at 100% poplar gasification in entrained flow gasification. The results also suggest low slagging risks during poplar gasification in fixed-bed systems. The relatively high K contents in the gas phase at moderate and high process temperatures can be positive as this can allow a faster and more efficient fuel conversion in, e.g., entrained flow gasification. However, the increased levels of potassium hydroxide (KOH) in the gas phase can have negative consequences in terms of higher risk of corrosion of the reactor lining as well as interaction/reaction with bed particles in fluidized bed gasification leading to bed agglomeration and bed material deposition.

There are several suitable technology concepts for producing biofuels from poplar as biomass. Gasification is considered an excellent process concept and can produce biofuels for a reduction obligation for petrol, diesel and aviation fuel. There is also great potential for producing biofuels for shipping in the form of methanol, which already has a demand for this.

The project has shown that in isolation from the need for raw materials, there are several places where facilities of a size of 160,000, 240,000 tonnes of DM poplar per year can be located. It may even be relevant to start more than one site with a plant size of 443,000 tons DM per year.

A large plant of 443,000 tonnes DM poplar per year could, according to the calculations excluding energy for reprocessing to final products, contribute with: (theoretically if all poplar is converted)

- AFT (Fischer-Tropsch - Petrol, Jet, Marine diesel), ~ 1.3 TWh, (9.4 TWh)
- Methanol, ~ 1.5 TWh, (10.8 TWh)
- Gasoline (MTG), ~ 1.2 TWh, (8.7 TWh)

There are relatively large areas in southern Sweden where former agricultural land has been planted, mainly with spruce. Here, poplar cultivation can enrich the landscape and ecological niches.

The availability of a sufficient amount of bio-raw material to achieve economies of scale at a bio-fuel plant is crucial for a profitable plant. According to this project, the best biorefinery conditions with poplar as a raw material are in Västra Götaland and eastern Sweden, with its center in Östergötland. In addition, there is already extensive experience of poplar cultivation in these regions.

This project has shown that implementation of a Bio-CCS system where an income for bio-based carbon dioxide would be obtained, significantly improves profitability.

To maximize the amount of product from a given amount of biomass, addition of extra hydrogen provides an opportunity to achieve this. The carbon losses, as carbon dioxide, are about 50% for the evaluated concepts during the processing of biomass into products. A green hydrogen supplement can be obtained via electrolysis of water via renewable electricity. Fully utilized, this carbon loss could, with addition of hydrogen, be converted to products and more than double the amounts from the same amount of biomass. This would require large amounts of electricity and a calculation would be interesting but does not fit within this project.

Only rough assumptions and calculations are made for a Bio-CCS system impact on the product price. A more detailed analysis of biofuel production with combined Bio-CC compared with hydrogen-assisted production is considered an interesting future step.

The production price range for the various products, SEK 0.64-1.31/KWh can be compared with the current market price on 22 December 2021 (Preem & Circle K), for diesel (approx. SEK 1.93/KWh) and HVO 100 (approx. SEK 2.08/KWh) at pump. The market price includes any taxes trading margins, transportation and infrastructure costs.

INNEHÅLL

1	INTRODUKTION	12
1.1	SNABBVÄXANDE LÖVTRÄD SOM BAS FÖR BIODRIVMEDEL - BAKGRUND	12
1.2	SYFTE OCH MÅL.....	15
1.3	RAPPORTENS STRUKTUR.....	15
2	PRODUKTION OCH ODLINGSSYSTEM	17
2.1	INTRODUKTION	17
2.2	METOD	18
2.3	RESULTAT OCH DISKUSSION	18
2.4	SLUTSATSER.....	22
3	TILLGÄNGLIGA AREALER.....	23
3.1	INTRODUKTION	23
3.2	METOD	24
3.3	RESULTAT OCH DISKUSSION	25
4	TRANSPORT OCH ODLINGSEKONOMI	31
4.1	INTRODUKTION	31
4.2	RESULTAT OCH DISKUSSION	33
4.3	SLUTSATS.....	35
5	RÅVARUANALYS.....	36
5.1	INTRODUKTION	36
5.2	METOD	36
5.3	RESULTAT OCH DISKUSSION	39
5.4	SLUTSATSER.....	44
6	DRIVMEDELSPROCESSER OCH PRODUKTER	46
6.1	INTRODUKTION	46
6.2	METOD	51
6.3	RESULTAT OCH DISKUSSION	55
6.4	SLUTSATSER.....	57
7	LOKALISERING AV DRIVMEDELSINFRASTRUKTUR.....	59
7.1	INTRODUKTION	59
7.2	METOD	59
7.3	RESULTAT OCH DISKUSSION	60
7.4	SLUTSATSER.....	68

REFERENSER	70
BILAGA 1. SKOGSAREAL.....	77
BILAGA 2. AREALER 2019	85
BILAGA 3. TOTAL ÅKERAREAL.....	93
BILAGA 4. HELA ÅKERAREALEN	94

1 INTRODUKTION

1.1 SNABBVÄXANDE LÖVTRÄD SOM BAS FÖR BIODRIVMEDEL - BAKGRUND

Sverige har beslutat att utsläppen från inrikes transporter, (vägtrafik, bantrafik och inrikes sjöfart) ska minska med 70 % till 2030 relativt basåret 2010. Senast år 2045 ska Sverige inte ha några net-toutsläpp av växthusgaser till atmosfären, för att därefter uppnå negativa utsläpp (Energimyndigheten, 2019). I dag drivs ca 80 % av alla vägtransporter i Sverige med fossila bränslen. Av de ca 20 % biodrivmedel som används baserades 2018 mer än 85 % på import (Energimyndigheten, 2018). Sverige har en unik potential för inhemsk produktion av biodrivmedel från cellulosahaltiga växter från skog eller åkermark. Det kommer dock att finnas restriktioner från att omvandla livsmedelsgrödor till drivmedel enligt RED II (EU-parlamentet, 2018). En ytterligare expansion av nyttjandet av skogsbiomassa från dagens nivå för energiändamål samt skogsindustrins ökande efterfrågan på skogsråvaror för nya produkter, typ viskos till kläder, samt produktionsökningar av befintliga produkter, innebär att skogens biomassaproduktion inte är tillräcklig. Produktionskostnaderna för bio-baserade drivmedel är starkt beroende av bioråvarans pris (European Commission, 2017). Priset beror av flera faktorer som råvarans geografiska lokalisering, kvalitet och konkurrens. Att kunna öka produktionen per arealenhet med olika åtgärder som bl.a. att odla trädslag med bättre tillväxt och produktionskapacitet är därför en lågt hängande frukt. Poppel är internationellt och nationellt verifierat som ett trädslag med mycket god produktionsförmåga i klimat som Sveriges och i dag anses det att poppel kan producera mellan 15–35 m³ per hektar och år under en omloppstid på 15–30 år (Verwijst m.fl., 2019, Persson, 2014, Elfving, Eriksson 2009, Rytter m.fl., 2019).

Även om vissa mätningar påvisar relativt bra produktion, är de baserade på bestånd från väldigt olika förhållanden och okända kloner. Det råder alltså en viss osäkerhet i hur mycket biomassa poppel kan producera under svenska förhållanden. Konsekvensen kan därför bli en över- eller underskattning av produktionsnivån och slutligen resultera i en felaktig bild av hur biomassatillgången kommer att vara på landskapsnivå. Under de senaste åren har ett bättre odlingsmaterial och bättre skötselmetoder troligen förbättrat produktionen och resulterat i säkrare produktionsvolym. Tyvärr är de nya resultaten och erfarenheterna idag spridda i olika typer av publikationer och en tydlig överblick saknas.

Generellt kräver poppelmarker högt näringsinnehåll, vattenhållande förmåga och relativt högt pH för att nå sin fulla produktionskapacitet. Det är vanligtvis åkermark eller före detta åkermark som har dessa egenskaper. Det finns stora arealer som troligen kan planteras med poppel, ca 146 000 ha jordbruksmark som idag ligger i träda (Jordbruksverket, 2019). MINT-utredningen (Larsson m.fl., 2009) redovisade att det finns 400 000 hektar ej livsmedelsproducerande åkermark som kan planteras med poppel. Denna mark är med dagens lantbruksmetoder inte använd för livsmedelsproduktion eftersom den ofta har sämre bördighet, dålig arrondering, små brukningsarealer eller fuktigare mark. Plantering av poppel på denna mark skulle därför inte påverka livsmedelsproduktionen och konflikten mellan livsmedelsproduktion och odling av "drivmedel" kan därför undvikas. Poppelodlingen ska därför ses som en positiv förändring i markanvändning enligt DLUC (Direct Land Use Change) eftersom mer biomassa lagras.

Utöver detta finns det ca 1,2 miljoner hektar åkermark som inte brukas eller beskogats med gran under 1900-talet (SCB, äldre statistik) och MINT-utredningen föreslår att det kan finnas en ganska

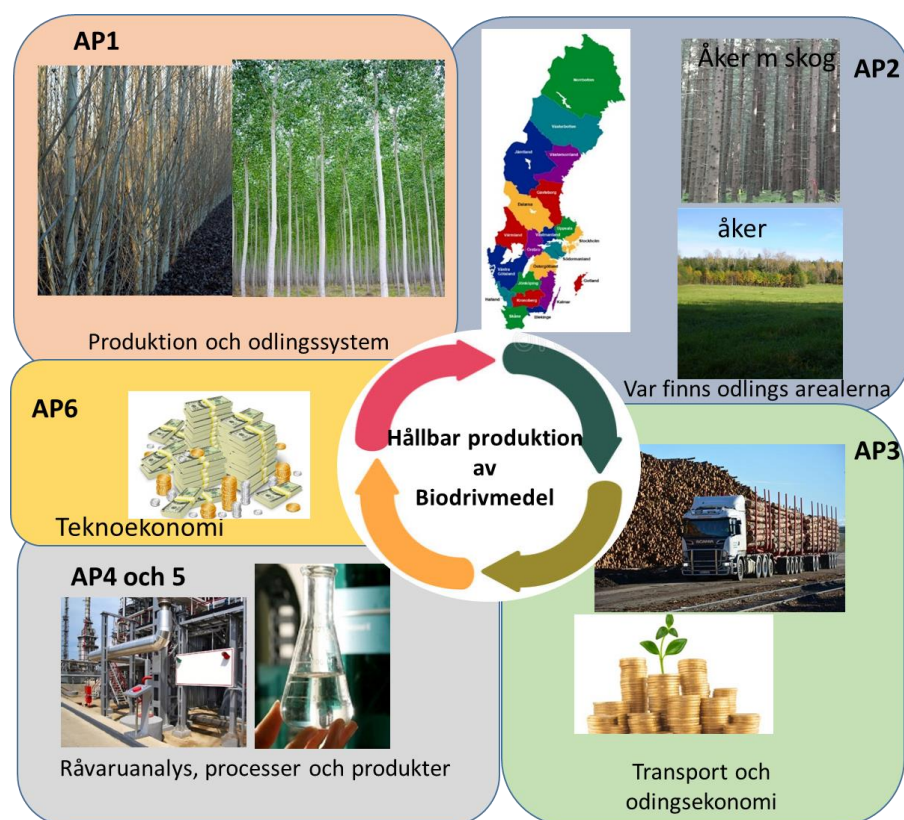
stor andel bördig skogsmark. För skogsmarken sker ingen negativ förändring enligt ILUC/DLUC eftersom ett trädslog byts ut mot ett annat mer snabbväxande med förmåga att assimilera mer koldioxid. Eftersom poppel har en mycket hög tillväxt (höjdtillväxt på ca tre cm per dag) kommer odlingsplatsens klimat att vara en av nyckelfaktorerna till att kunna prognostisera poppelodlingens biomassaproduktion. En odling på totalt 1 miljon ha (5 % av den totala skogsarealen) skulle kunna motsvara 25 % av dagens årliga uttagsnivå från skogen (Skogsstyrelsen, statistikdatabas). Överslagsmässiga beräkningar visar att i Sverige har poppelodling potential att öka det skogliga råvaruuttaget med upp till 30 miljoner m³ per år. Om enbart 50 % av dessa arealer är möjliga att nyttja för produktion av biomassa från poppel finns där potential att i biomassa binda motsvarande ca 7 miljoner ton koldioxid per år. Detta under förutsättning att tillväxten motsvarar 6 ton TS (torrs substans) per hektar och år (6 ton är försiktigt räknat, de flesta sammanställningar visar på motsvarande 8,5 ton, med en övervikt från södra Sverige). Vidare indikerar forskningsresultat att poppel kan producera betydligt mer per hektar än gran och att detta är speciellt markant ju längre norrut i Sverige man kommer (Rytter och Reimo, 2019). Idag saknas kunskap om var i landet dessa marker ligger. För att kunna beräkna de ekonomiska förutsättningarna för drivmedelsproduktion från poppel är en nyckelkunskap att kartlägga var markerna ligger i kombination med sammanställning av produktionsresultat från försöksplanteringar.

Eftersom poppel har en hög produktionskapacitet kan poppelplanteringar generera ett kraftigt tillskott av biomassaproduktion för biodrivmedel. Enligt ”Komplettering till Kontrollstation 2019 för reduktionsplikten” (Energimyndigheten, 2019) antas behovet 2030 vara 41,2 TWh biodrivmedel motsvarande ca 5,6 miljoner m³ (1,6 miljoner m³ 2018). Som ett grovt exempel skulle detta innebära ett råvarubehov vid en energiverkningsgrad på 50 % på ca 50 miljoner m³. Här skulle poppelodling kunna bidra med 50 %. Kunskapsläget för det ekonomiska förutsättningarna för poppelodling som bas för biodrivmedel är obefintligt. Kort omloppstid och hög tillväxt leder till ett snabbt kassaflöde vilket är positivt och att stora mängder biomassa blir snabbt tillgängligt för industrin. Hur poppelbiomassa fungerar och vilka möjligheter samt problem poppelvirke för med sig i produktionen av drivmedel beror framför allt på råvarans kemiska innehåll. Internationellt odlas poppel även som energiskog med täta förband, ungefär som salix odlas i Sverige. Bränslekaraktäristik på poppel odlade på åker med kort omloppstid återfinns i litteraturen. Dess karaktäristik liknar den hos salix, emedan karaktäristiken hos poppel odlad utifrån längre omloppstid ej är sammanställd och utvärderad. Då tjockare dimensioner bör innehålla mer stamved och mindre andel askrika komponenter såsom bark och grenar bör detta ha positiva effekter på bränslets egenskaper. Termisk omvandling av poppel med lång omloppstid följt av syntes och upparbetning till valt biodrivmedel har inte studerats tidigare.

Tillverkningsprocesser för biodrivmedelsproduktion från biomassa kan grovt delas upp i, termokemiska, biokemiska och oleokemiska (Börjesson m.fl. 2016). Poppels kemiska och fysikaliska egenskaper har stor betydelse för val av lämplig processväg. Några exempel på produktionsvägar för termokemiska processer som har stor drivmedelsvolympotential går via förgasning av fast biomassa, Gobigas (ej i drift), Cortus (under uppstart). Poppel kan nyttjas som massaved för massaframställning, stamved till massaproduktion och restprodukterna kan konverteras till drivmedel. Avluten lämpar sig troligen för förgasning men har ej testats och tekniken (Chemrec-tekniken) har liknande potential som föregående. Vid massaframställningen erhålls dessutom tallolja vilken via en oleokemisk process t.ex. nyttjas av bolaget Sunpine för produktion av råtalldiesel. Det är intressant att utvärdera om större eller mindre andel tallolja fås vid användning av poppel. En annan

oleokemisk process är att avskilja lignin från avluten för vidare processande till biodrivmedel. Det görs exempelvis av företagen Suncarbon och RenFuel. Exempel på biokemisk process att utreda är tillverkning av etanol, SEKAB. Gemensamt för alla processer är behovet av stora mängder bioråvara till så låg kostnad som möjligt. För att öka poppelplanteringarnas areal krävs det att hela systemet, från odling av biomassa till priset av det färdiga drivmedlet, har en positiv ekonomi. Odlingens ekonomi beror framför allt på biomassans produktionskostnad, tillväxt och pris. Priset eller betalningsförmågan beror på transportavstånd och logistik men dels också på processkostnader för att omvandla poppelbiomassa till färdigt drivmedel. Så den totala ekonomin beror i slutändan på vad ett miljömässigt bra drivmedel får kosta på marknaden.

En sammanfattning av projektets olika arbetspaket (AP) visas i figur 1.



Figur 1 Projektets olika arbetspaket för en cirkulär produktion av förnybara bränslen från snabbväxande lövträd.

AP1 (kapitel 2) beskriver produktionskapaciteten av snabbväxande lövträd i olika geografiska områden.

AP2 (kapitel 3) identifierar var odlingslokalerna befinner sig geografiskt och resultaten från AP1 resulterar i att produktion per odlingslokal kan redogöras.

AP3 (kapitel 4) redovisning för de ekonomiska förutsättningarna för odling av snabbväxande lövträd under svenska förhållanden.

AP4 (kapitel 5) karaktäriserar poppelns egenskaper för val av lämpade vidareförädlingsprocesser.

AP5 (kapitel 6) sammanställer möjliga processvägar för biodrivmedelsproduktion samt redovisar hur mycket drivmedel som kan utvinnas från en viss mängd vedbiomassa.

I AP6 (kapitel 7), givet resultat i tidigare arbetspaket, beräknas och sammanställs ekonomiska förutsättningar för kommersiell biodrivmedelstillverkning.

1.2 SYFTE OCH MÅL

Projektets övergripande syfte är att sammanställa och ta fram kunskap för inhemsk produktion av förnybara drivmedel genom ökad råvarutillgång från odling av snabbväxande lövträd som t.ex. poppel. Detta görs genom att i geografiskt kvantifiera och identifiera arealer samt identifiera metoder för produktion av de stora volymer biodrivmedel som krävs för att nå uppsatta nationella mål. Projektet inkluderar de ekonomiska förutsättningarna för aktörerna i hela värdekedjan.

Projektet har följande delmål:

- Sammanfatta och beskriva möjligheterna för poppelodling för svenskt klimat i hela landet som bas för produktion av biodrivmedel.
- Geografiskt kartlägga produktionsområden i Sverige för poppel på obrukad jordbruksmark och åkermark som i dag har planterats med andra trädslag och skogsmark.
- Bedöma produktionskostnaden vid storskalig odling snabbväxande lövträd.
- Analysera och karaktärisera egenskaper hos hybridpoppel för dess lämplighet som råvara till processer för drivmedelsproduktion.
- Identifiera och beskriva processer och tekniker lämpade för användning av poppel som enskild råvara eller i kombination med andra råvaror.
- Utvärdera produktionspotential och produktionsekonomi över hela drivmedelsproduktionslinan. Översiktligt identifiera geografisk lämplig processindustri med hänsyn till möjliga produktionsområden för poppel.

1.3 RAPPORTENS STRUKTUR

Kapitel 2 beskriver poppelodlingens olika odlingssystem och produktion på regional och nationell nivå. Beskrivningen baseras på sammanställning av tidigare vetenskapliga publikationer och arbetsrapporter. Vidare görs en beskrivning av hela produktionskedjans olika delar.

Kapitel 3 beskriver de olika typer av odlingsarealer som kan lämpa sig för poppelodling och beskriver odlingsnivåerna på länsnivå. Vidare beskrivs både den totala arealen samt ett möjligt arealscenario för tre olika marktyper: åkermark, beskogad åkermark (ofta gran) och skogsmark. Kapitlet beskriver även hur biomassaproduktionen fördelas på länsnivå relaterat till tillgänglig areal och biomassaproduktionsförmåga.

Kapitel 4 beskriver poppelodlingens ekonomi vid olika produktionsförutsättningar: kostnad per MWh, per ton TS och per ton assimilerad koldioxid för biomassan levererad till industri. Kapitlet presenterar en också en känslighetsanalys för marknettots beroende av priset per MWh.

Kapitel 5 beskriver biomassans bränsleegenskaper från svenska poppelodlingar och sätter dem i en kontext av tidigare publicerade arbeten, både nationellt och internationellt. Särskilt beaktas poppelns askkemiska egenskaper då askans beståndsdelar skiljer sig mot ordinarie stamvedsbaserad skogsråvara.

Kapitel 6 om drivmedelsprocesser och produkter visar tre olika koncept från skogsflis till drivmedel: Fisher Tropsch-produkter, ren metanol, samt MTG (*eng.* Methanol to Gasoline). Kapitlet tar upp verkningsgrader, produktion och produkter för olika anläggningsstorlekar. Det inleds med en överblick över omvärldens behov av drivmedel.

Kapitel 7 om lokalisering av drivmedelsinfrastruktur påvisar praktiska och ekonomiska möjligheter att producera drivmedel från poppel, inklusive känslighetsanalys. Dessutom ges exempel på några praktiska projekt utomlands samt exempel på motorlösning som kan använda drivmedlet metanol.

2 PRODUKTION OCH ODLINGSSYSTEM

2.1 INTRODUKTION

Planteringar av snabbväxande lövträd som t.ex. poppel kan snabbt producera stora mängder biomassa. I vissa delar i världen är används arter inom *Populus* (poppel och hybridasp) frekvent inom plantageskogsbruket (DeBell m.fl. 1997; Stanturf 2001), men det finns stora utmaningar för dessa odlingar. *Populus* träd är generellt omtyckta av klövvilt som kan orsaka stora betesskador i planteringar (Löf m.fl. 2010; Rytter m.fl. 2011). Dock är poppelarter mindre utsatta än hybridasp vilket gör att poppelplanteringar troligen kan anläggas utan hägn (Böhlenius m.fl. 2015). I Sverige finns det stora arealer som kan planteras med snabbväxande lövträd (se kapitel 3).

Internationellt planteras poppel främst på marginalmarker (åkermark som inte används) (Christersson, 2008, Christersson, 2010, Bilodeau-Gauthier, m.fl., 2011, Stanturf, m.fl., 2014, Truax, m.fl., 2012, Truax, m.fl., 2014, Pinno, m.fl., 2009a, Pinno, m.fl. 2009b) och ibland på skogsmark efter avverkning (Stanturf, m.fl., 2014, Guillemette, m.fl., 2008, Coll, m.fl., 2007, Mc Carthy, m.fl., 2017).

Efter stormarna Gudrun 2005 och Pär 2007 ökade intresset för att plantera snabbväxande lövträd för att ersätta gran, men resultaten är nedslående vad gäller överlevnad och tillväxt. Skogsmarken i Sverige har typiskt ett lågt pH och eftersom poppel är känsligt mot pH under 5.0 gör det att plantering på skogsmarker kan vara problematiskt (Bergstedt 1981; Jobling 1990; Lu m.fl. 2001; Böhlenius m.fl. 2016; Hjelm m.fl. 2016; Rytter m.fl. 2011). Det finns dock metoder för att poppel ska kunna odlas på dessa marker. Tillsats av kalk eller aska vid plantering kan höja markens pH (Böhlenius m.fl. 2020).

En lyckad plantering är det första och viktigaste steget för att säkerställa en hög biomassaproduktion. Jämfört med många andra trädslag kan plantmaterialet och metodiken varieras för poppelodling vilket gör att planteringssteget kan vara extremt flexibelt och anpassas till odlingslokalernas individuella förutsättningar. Poppelplantor kan varieras med 20–80 cm långa sticklingar, 1.5–2 m långa pålar, bar- och täckrotsplantor.

Poppel är generellt krävande vad gäller tillgång på vatten och näring för att ha en snabb tillväxt. Detta är speciellt viktigt tiden efter plantering. För en nyligen planterad planta är den initiala tillväxten ovan och under jord mycket viktig för att förkorta perioden då plantan är känslig mot omgivande miljöfaktorer som torka, konkurrens av vegetation och betning (Tullus m.fl. 2011; Coll m.fl. 2007; Böhlenius m.fl. 2015; Otto m.fl. 2010; Nilsson m.fl. 2010). Tillgången på vatten och näring för en nyligen planterad planta eller stickling begränsas dock av rotsystemet, jord-rot-kontakt och rotsystemets storlek (Otto m.fl. 2010; Nilsson m.fl. 2010; Rietveld m.fl. 1989; Grossnickle m.fl. 2005). Om bra förhållanden skapas kan poppelplantornas rötter växa över 1 meter under det första året (Friend, m.fl., 1991).

Idag sker de flesta planteringar i Sverige med barrotsplantor men sticklingar kan i många fall planteras med goda resultat (Böhlenius m.fl., 2016), speciellt på åkermark under förutsättning att konkurrerande vegetation tas bort. Internationellt är det vanligast att plantera långa eller korta sticklingar, men andra planttyper förekommer. Skillnaden i pris mellan en stickling och barrotsplanta kan ligga på omkring 5–8 SEK. Beroende på marktyp kommer planeringsmetodiken att variera både plantvalet och metoden för att skapa bra mikroklimat för plantan under de första åren. Det är

även i planteringssteget som odlingssystemet kan anpassas, t.ex. avseende antal träd per areal och trädens fördelning över ytan. I Tyskland och Italien varierar antalet plantor från 500 till 10 000 stammar. Biomassan från poppelodling vid 10 000 stammar liknar den vid svenska salixodlingar medan 500 stammar är för timmerproduktion. I Sverige är det vanligast att plantera ca 1100 plantor per hektar, med målet att biomassan ska förkomma i grövre dimensioner.

Eftersom poppel har en hög tillväxt kan skördetillfället ske relativt tidigt, 10–12 år efter plantering. Men odlingen kan även lämnas och skördas vid en höger ålder, t.ex. 30 år. Idag är de flesta planteringar utformade som monokulturer med jämn fördelning av antalet plantor över ytan. Eftersom poppel planteras med vegetativt förökade plantor som är genetiskt identiska så blir deras ursprung (vilken moderplanta) eller kloner, extremt viktiga för att nå en hög produktion. I dag finns det klonblandningar för både södra och norra Sverige (upp efter norrlandskusten) men ofta är det en enda klon, OP42, som planteras. OP42 har under många år visat sig odlingssäker och kan generera en hög produktion. Dagens kunskapsläge om poppel och hybridasp's produktionsnivåer visar på en produktion mellan 15–35 m³ per hektar och år (Verwijst m.fl. 2019; Persson 2014; Elfving 2012; Eriksson 2009; Rytter m.fl. 2019). Detta gör att prognostisering av biomassaflöden från poppelodlingar måste sammanställas.

2.2 METOD

För att kunna beskriva hela odlingssystemet och produktionen för poppelodling på olika marker, i olika klimatområden samt hur olika odlingslokaler påverkar odlingen, har både vetenskapliga tidskrifter, studentarbeten och arbetsrapporter identifierats genom litteratursökningar. I vår redovisning har vi delat upp Sverige i två regioner; södra (Uppland, Södermanland, Östergötland, Småland, Skåne, Halland, Blekinge, Västra Götaland, Värmland, Örebro, Västmanland) och norra (Gävleborg upp till Norrbotten). Vi har även valt att beskriva odlingssystemet och produktionen på åkermark och skogsmark. I rapporten har vi även redovisat produktionen av hybridasp.

2.3 RESULTAT OCH DISKUSSION

Poppel har ett mycket flexibelt odlingssystem för biomassaproduktion. Täta planteringar med 7 000–10 000 stammar per hektar (likheter med salix), har en hög initialkostnad och kan skördas kort tid efter plantering (ca 4 år). Om uttaget däremot sker genom att lämna vissa träd kvar kan ett glest odlingsbestånd skapas efter att en första biomassa skördats. I ett odlingssystem där ett mindre antal plantor planteras (ca 1100 per hektar) minskar de initiala kostnaderna för anläggning men tiden fram till första skörd kommer att bli längre, ca 15–30 år. Vid skörd kan konventionell skogsbruksteknik användas till en låg kostnad och implementeras direkt i dagens avverkningsystem. Detta odlingssystem kommer att producera grövre stammar (20–40 cm i diameter) liknande rundved (stamved + bark) och är det vanligast förekommande odlingssystemet i Sverige. Vanligtvis planteras träden med 3 meters förband, jämnt fördelade över hela arealen. Här finns dock stora möjligheter att skapa odlingar där flera värden än biomassaproduktion kan samsas.

Planteringar med träden i grupper med korta eller större avstånd kommer att resultera i en annan typ av odlingar. Här finns även möjligheten att samplantera andra lövträd som t.ex. björk eller bok. I de öppna luckorna kommer även buskar och annan vegetation att trivas. På så sätt skapas en biomassaodling med både hög biomassaproduktion och höga naturvärden.

För att nå maximal produktionskapacitet är etablering den viktigaste och mest kostsamma åtgärden. Det gäller för de flesta trädslag men är extra viktigt vid plantering av poppel eller hybridasp då det inte kommer att ske någon självföryngring från omgivande skog. Misslyckas man i detta steg kommer produktionen att påverkas under hela omloppsperioden. Poppel har fördelen att planteringsmaterial är varierat. Det består av barrots- och täckrotsplantor (från rotade sticklingar), sticklingar av olika längder och långa ett- eller tvååriga pålar. Detta gör att planteringsmetodiken kan anpassas till odlingslokalen (åkermark – beskogad åkermark eller skogsmark). På åkermark är valet av planteringsmaterial inte avgörande för ett lyckat resultat (Böhlenius m.fl. 2015; Mc Carthy m.fl. 2016). Resultat från svenska förhållanden har visat att plantering med korta sticklingar eller rotade plantor har en lika hög tillväxt de första åren (Böhlenius m.fl., 2015) under förutsättning att ogräset kontrolleras noggrant (ibid.). Dessa resultat är i linje med andra internationella publikationer (DeBell m.fl. 1997; Hofman m.fl. 1999) och praktiska rekommendationer (Hartman 1975) att poppel kan med fördel planteras med ej rotade plantor.

I en internationell jämförelse planteras poppel även med långa pålar (2 m) som borrar ner i marken. Detta kan vara en fördelaktig metod om man vill nå betesfri höjd snabbt. Plantering av pålar leder initialt till en högre höjd, men tillväxtskillnaderna och totala höjden mot andra planttyper tycks avta med tiden (Böhlenius 2020, opublicerade resultat). Planteringen av dessa pålar kan ske manuellt eller mekaniskt och praktiseras idag vid anläggningar i de baltiska länderna (Böhlenius m.fl., 2020).

Både täckrotsplantor och sticklingar är beroende av en effektiv ogräskontroll eller marktäckning (Böhlenius m.fl., 2015a och 2015b). De svenska resultaten är helt i linje med internationella studier som visat på poppels känslighet mot konkurrerande vegetation (Coll, m.fl., 2007; Otto m.fl. 2010; Tullus m.fl. 2011) och att misslyckanden vid plantering ofta beror på undermålig vegetationskontroll. För poppel ökar tillväxten om vegetationen tas bort under de tre till fyra första åren. En mer realistisk tidsperiod för svenska förhållanden skulle kunna vara under de två första åren efter plantering. Dock bör det vegetationsfria området omkring plantan vara ca 1 m (Davies 1988a; Böhlenius, m.fl., 2015a och 2015b). En bra vegetationskontroll är inte bara positivt för plantans tillväxt utan även för att minska skador av t.ex. sorkangrepp som kan skapa potentiella problem vid plantering på åker- eller skogsmarker med mycket gräs.

Efter planeringsfasen kan odlingen skötas på två olika sätt; utan biomassauttag fram till slutgiltig skörd eller genom att man kontinuerligt skördar (gallring) biomassa 1-2 gånger under omloppsperioden.

I odlingssystemet utan uttag låter man alla plantor (1100 per hektar) som etablerat sig växa fram till slutavverkning, som kan utföras 15 till 25 år efter plantering. I detta system kommer vedbiomassa produceras som har en diameter mellan 20 och 40 cm. I det andra alternativet (med uttag) kan också 1100 plantor planteras men här kommer en biomassaskörd (gallring) ske efter ca 12 år genom att ca 30 % av träden avverkas, vilket motsvarar ca 30 ton TS. Detta system kan varieras ytterligare genom att olika mängder tas ut under hela omloppsperioden.

Tidigare publiceringar visar att på åkermark i södra och mellersta Sverige har poppelodlingar en produktionskapacitet på omkring 8,4 ton TS per hektar och år (variation mellan 6 och 10). Produktionen på dessa marker är relativt väl beskrivna med ett flertal vetenskapliga publikationer (Karačić

m.fl. 2003; Christersson 2010; Karačić och Adler, 2021). Viktigt att poängtera är att resultaten i tabell 1 nedan beskriver biomassaproduktionen av en poppelklon, OP42, vilket är en av de bästa klonerna att plantera för sydsvenska förhållanden (Bräuner m.fl. 2018). Dock har det visats i flera studier (t ex Bräuner m.fl. 2018) att skillnaderna i produktion mellan kloner är mycket stora och kan förklara variationer i tidigare produktionsresultat (Karačić m.fl. 2003). Produktionen i de svenska odlingarna ligger på samma nivå som i bl.a. Tyskland och Italien (Bräuner m.fl. 2018; Manzone 2014; Hedlund, 2021). Produktionen på åkermark i norra Sverige varierar mellan 2 och 6 ton TS per hektar och år (Rytter 2019; Elving 201; Boström 2012). Jämförelser mellan nya planteringar (Rytter 2019) och tidiga planteringar av SLU (Boström 2012) i början på 2000-talet tyder på att det redovisade resultatet på 6 ton TS per hektar och år troligen är en underskattning. Rytter (2019) redovisar en produktion på 6 ton TS per hektar och år, medan tex Boström (2012) redovisar en biomassaproduktion på ca 4 ton TS per hektar och år, detta trots att planteringarna i Rytter (2019) bara nått en ålder på 9 år (20 år i Boström 2012) och det är under den senare delen av omloppsperioden som volymproduktionen sker. Skillnaden mellan de två planteringarna är att i den senare planteringen har bättre kloner, plantmaterial och metod för plantering (vegetationskontroll) resulterat i en bättre tillväxt. Identifiering av ännu bättre kloner kommer att öka produktionen ytterligare.

För skogsmark ökar osäkerheter kring produktionskapacitet ytterligare. För närvarande finns det inga mätningar som nått en hel omloppsperiod (ca 20 år) utan här får vi förlita oss på yngre odlingar. Falhvik m.fl. (2021) redovisar en medelproduktion på 5-6 ton TS per hektar och år under de första 12 åren från bördig skogsmark. Dessa marker har en historik om att tidigare varit åkermark men har planterats med skog, i detta fall gran. Givet att medeltillväxten ökar kraftigt med åldern på planteringen (det sker liten volymtillväxt under de första åren) är en produktion på 6 ton TS per hektar och år troligen en underskattning av den verkliga produktionskapaciteten på dessa marker. Vad gäller skogsmarken för norra Sverige finns det tyvärr ännu färre studier genomförda. För att kunna generera en möjlig produktionsnivå har vi identifierat den procentuella skillnaden mellan skogs- och åkermark i södra Sverige (6 ton TS skog - 8 ton TS åker) och överfört den till den norrländska produktionen. Den möjliga produktionen på skogsmark ligger gissningsvis på omkring 4-5 ton TS per hektar och år. Denna produktion är dock mycket osäker och ska ses mera som en riktlinje på vad en produktion skulle kunna vara än en faktisk produktionsnivå.

Tabell 1. Beskrivning av poppel och hybridaspens produktionsförmåga.

Art	Beståndsålder år	Beståndsbeskrivning Antal stammar	Årlig tillväxt t ha-1 år-1	Mark typ	Land och region	Referens
Poppel	18-20	750-650	8,2 till 7,7	Åker	Sverige (södra)	Karačić m.fl. 2003
poppel	18	750	7	Åker	Sverige (södra)	Christersson 2010
Poppel	18	670	8	Åker	Sverige (södra)	Christersson 2010
Poppel	18	625	9	Åker	Sverige (södra)	Christersson 2010
Poppel	18	707	8.5	Åker	Sverige (södra)	Karačić m.fl. 2003
Poppel	16-18	875-1111	6 till 9	Åker	Sverige (mellan)	Karačić m.fl. 2003
Poppel	30	650	10,15	Åker	Sverige (mellan)	Andler och Karacic 2021
Poppel	15	1000 till 1250	6,3 till 8	Åker	Sverige (mellan)	SLF slutrapport
Poppel	27	600	4 till 5	Åker	Sverige (Norra)	Elvings 2012
Poppel	16 till 18	900	3 till 4	Åker	Sverige (Norra)	Elvings 2012
Poppel	20	600	4	Åker	Sverige (Norra)	Boström M och Linck L 2012
Poppel	9	1100	6	Åker	Sverige (Norra)	Rytter, 2019
Poppel	12	1000	4 till 5	Skog	Sverige (södra)	Falhvik m.fl. 2021
Poppel	18	1500	2	Åker	Sverige (Norra)	SLU försöksserie 2012
Poppel	18	1047	2,5	Åker	Sverige (Norra)	SLU försöksserie 2012
Poppel	9	1100	4 till 6	Åker	Sverige (Norra)	Rytter, 2019
Poppel	13	1600	7.8	Åker	Danmark	Bräuner m.fl. 2018
Poppel	6	1100	15	Åker	Italien	Manzone, 2014
Poppel	18	1200	8,75	Åker	Litauen	Hedlund 2021
Poppel	6	inga data	10 till 15	Åker	Tyskland	Landgraf, 2020
Hybridasp	25	ca 1000	9	Åker	Sverige (Södra)	Stener L-G, Karlsson B 2004
Hybridasp	18	810	8	Åker	Sverige (Södra)	Christersson 2010
Hybridasp	18	700	7	Åker	Sverige (mellan)	Christersson 2010
Hybridasp	17-23	779-1150	5.1 till 10.0	Åker	Sverige (mellan)	Johansson 2013
Hybridasp	9	1100	7 till 8	Åker	Sverige (Norra)	Rytter, 2019
Hybridasp	32	800-1100	10,1	Åker	Sverige (Norra)	Elfving, B. 1986.
Hybridasp	12	1250	4,4 till 7,7	Åker	Finnland	Hytönen, 2020
Hybridasp	10	1100	9,1	Åker	Lettland	Tullus, A. 2010.
Hybridasp	28	inga data	6	Åker	Denmark	Jacobsen 1976
Hybridasp	20	inga data	7	Åker	Finnland	Beuker E, m.fl. 2016.

En fördel med poppelodling är att efter avverkning behöver inte odlingen nyplanteras; nästa generation kommer av självföryngring från rot eller stubbskott (Figur 2). Vanligtvis kommer ett stort antal skott som självgallras under tiden. Ett praktiskt exempel är en odling som sju år efter avverkning producerade 5600 stammar per ha men under de följande 8 åren minskar antalet ner till under 3000 (Nguyen, 2018). Det är tydligt att de träd som konkurrerats ut är de små och svaga träden medan de dominanta och stora träden växer vidare. Även här kan man tänka sig två olika skötsel-system; ett med och ett utan biomassauttag. I systemet utan uttag ligger totalproduktionen (efter 15 tillväxtperioder) på 150 ton TS per hektar, vilket motsvarar en medelproduktion på ca 10 ton TS per hektar och år. Om man i stället väljer att skörda en del av biomassan omkring sju år efter avverkning, kan ca 45 ton TS per hektar plockas ut. Dessa odlingar växer sedan vidare och åtta år efter uttaget genererar de en total produktion på 120 ton TS per hektar och år, en medelproduktion på 8 ton TS per hektar och år.



Figur 2. Poppelodlingar i Sverige. Från vänster: 11-årig poppel i Lövsånger, Skellefteå, 12-årig poppel i Skövde, stubbskott efter tio år efter avverkning i Götene.

Den biologiska mångfalden i trädplantage är ofta högre än den som går att hitta i omgivande åkermark, (Sky och Wagner, 2007) där olika arter finns i poppelodlingar och på åkermark (Weih m.fl. 2003). Detta beror på att poppelodlingarna ökar variation av mikromiljön vilket är viktigt för att uppnå en hög artdiversitet. Dock kan variationen i mikromiljöer vara lägre än vad som går att hitta i naturliga skogar (Sky och Wagner, 2007). Hur den biologiska mångfalden påverkas beror till stor del på hur odlingssystemet utformas, lämnandet av evighetsträd, plantering av blandbestånd och beståndsålder.

2.4 SLUTSATSER

1. Poppelplantering är flexibel och anpassas efter odlingslokalernas förhållanden.
2. Odlingssystemet kan utformas så att skörd av biomassan kan ske kontinuerligt under omloppsperioden (gallring) eller ackumuleras och skördas vid ett tillfälle.
3. Biomassaproduktionen på åkermark ligger på en årlig nivå om 8,4 ton TS per hektar för södra/mellersta Sverige och 6 ton TS per hektar och år för norra Sverige. För odling på bördig skogsmark (tidigare åkermark) är den årliga produktionen lägre, omkring 6 ton TS per hektar och år för södra/mellersta Sverige.
4. Efter avverkning behövs ingen plantering utan återbeskogning sker genom rot/stubbskott som kan producera 8-10 ton TS per hektar och år under de första 15 åren efter avverkning.

3 TILLGÄNGLIGA AREALER

3.1 INTRODUKTION

Det finns stora arealer i Sverige där det finns möjlighet att plantera poppel. Flera olika studier har i närtid undersökt tillgänglig jordbruksmark, mark som skulle kunna brukas till annat. Några exempel är:

- Möjligheter till intensivodling av skog (Larsson m.fl. 2009).
- Nedlagd åkermark för biomassaproduktion-kartläggning och potentialuppskattning (Olofsson och Börjesson 2016).
- Potential för ökad tillförsel av inhemsk biomassa i en växande svensk bioekonomi – en uppdatering (Börjesson 2021).
- Betesbaserad köttproduktion och kolinlagrande virkesproduktion på nedlagd och nedläggningshotad jordbruksmark (Kumm 2021).

Enligt Olofsson och Börjesson (2016), finns ca 88 000 hektar tillgänglig åkermark för biomassa-produktion. Enligt MINT-utredningen (Larsson m.fl. 2009) bedöms maximalt ca 400 000 hektar jordbruksmark vara tillgänglig, och det finns behov av att förtydliga gränsdragningen i regelverken mellan jordbruksmark och skogsmark. Larsson m.fl. delade upp arealer på landsdelarna norra Norrland, södra Norrland, Svealand och Götaland och redovisade att ca 160 000 hektar har slutat brukas relativt nyligen, samt att totalt ca 286 000 hektar av tidigare åkermark återfinns i olika stadier, från kalmare till icke kalmare (Tabell 2).

Tabell 2. Reproducerad från MINT-utredningen. Arealen som visas är i 1000 hektar. Areal f.d. betesmark och f.d. åkermark. Data från Riksskogstaxeringen 2002-2006. Åkermark som brukats för mindre eller mer än 20 år sedan. Ej kalmare är mark som spontant börjat beskogas.

Landsdel	Betesmark <20 år	Åkermark <20 år	Åkermark > 20 år	
			Kalmare	Ej kalmare
N Norrland	3	23	21	31
S Norrland	5	19	8	29
Svealand	15	49	10	82
Götaland	50	68	24	83
Hela Landet	72	160	63	223

Olofsson och Börjesson (2016) redovisar arealer åker på länsnivå baserade på jordbruksblock som togs bort från blockdatabasen 2009 om ca 46 000 hektar samt ca 42 000 hektar i ej stödberättigade jordbruksblock, dvs. totalt 88 000 hektar. Den arealen inkluderas i denna rapport i kategorin ”obeskogad öppen mark som inte ingår i SJV:s (Statens Jordbruksverk) statistik” i tabell 3 nedan. Det finns alltså oklarheter i hur stora arealer som är tillgängliga, och framför allt var de ligger på kommun- och länsnivå. Odlingar i olika regioner påverkar produktionskapaciteten (se kapitel 2) så för att avgöra var och vilken biomassaproduktion en region kan ha, måste odlingsarealernas placering och areal identifieras.

Sverige består av åtta olika odlingszoner som var och en påverkar tillväxten och där zon 7 och 8 har ett klimatläge som gör att kapaciteten av biomassaproduktionen från poppelodlingar är relativt låg. Men arealer inom odlingszon 1-6, alternativt områden med en vegetationsperiod om 150 dygn eller mer, bör innebära en möjlig hög produktion. Poppel kan växa i många olika klimat, så en identifiering av klimatanpassat planteringsmaterial är fullt möjligt. Poppeln har generellt krav på pH 5,0 eller högre, även om vissa kloner klarar något lägre pH. Ca 88 % av Sveriges areal har pH 4,97 eller högre ifrån förnan till alv (jordlagret under matjorden), BC-horisonten (B-horisonten är oftast en anrikningshorisont och C-horisonten den opåverkade ursprungliga mineraljord), (Stendahl, 2021). Detta gör att det kan finnas vissa svårigheter med plantering på skogsmark med lågt pH men det är inte omöjligt om nyligen framtagna etableringsmetoder används (Böhlenius, m.fl., 2020).

Markerna har många intressenter, ifrån markägaren till samhället, som kan se fördelar med att icke brukade eller extensivt brukade marker används mer ändamålsenligt. Det finns idag drygt 23 miljoner hektar produktiv skogsmark. En del av denna skogsmark har tidigare varit åkermark som planterats eller spontant beskogats och övergått till skogsmark. Detta är troligen den bördigaste skogsmarken som finns i landskapet. Några av dess egenskaper är högt näringsinnehåll, vattenhållande förmåga och ett relativt högt mark-pH, samtliga faktorer som har en positiv påverkan på tillväxten. Böhlenius m.fl. (2021) noterar att 880 000 hektar mark har försvunnit från åkermarksarealen. En del av den marken skulle kunna vara intressant för att odla poppel eller andra snabbväxande träd på, inte minst eftersom lövskog kan tillföra positiva element för den storskaliga landskapsbilden och utveckla ekologiska nischer för t.ex. lavar.

3.2 METOD

Identifiering av arealer

Bedömning gjordes att intressanta skogsmarksarealer bör ha en bonitet¹ över 5,5 m³sk (skogskubikmeter) per hektar och år för att vara intressanta för poppelproduktion. För identifiering av skogsmark har SLU riksskogstaxeringen tagit fram data på kommunnivå över skogsarealer samt arealer med bonitet från 5,5 skogskubikmeter per hektar och år eller bättre. Den beskogade åkermarken har identifierats genom att länsvis jämföra åkerarealerna 1919 och 1937 med dagens åkerarealer. Skillnaderna som erhålls är huvudsakligen mark som beskogats men även mark som använts till annat som bebyggelse, infrastruktur och på annat sätt försvunnit från arealen åkermark. Arealen visar storleksordning på hur mycket av skogsmarken som tidigare varit åker eftersom dessa kan vara intressanta för att plantera snabbväxande träd på. De två valda åren har valts eftersom 1919 representerar åkerarealens maximum för länen i södra Sverige och 1937 på motsvarande sätt länen i norra Sverige.

För jordbruksmark har statistik från Lantmäteriets fastighetsdatabas använts för att uppskatta Sveriges totala areal. Denna areal inkluderar både arealer som inkluderas i Jordbruksverkets statistik

¹ Bonitet är ett mått på skogsmarks bördighet, eller markens naturliga virkesproducerande förmåga. Boniteten avgörs i huvudsak av områdets jordmån, klimat, fuktighetsförhållanden och exposition. Boniteten uttrycks i skogskubikmeter per hektar och år.

(Olsson 2021) samt sådant som inte inkluderas. Dessa uppgifter har sedan korrelerats med Jordbruksverkets statistik över den svenska åkerarealen och dess användning. Denna rapport redovisar tillgängliga åker- och skogsmarksarealer på kommunal nivå (bilaga 1, 2, 4). Arealer som försvunnit från jordbruksdrift redovisas dock på länsnivå eftersom stora förändringar av kommuner skett över tid redovisar i bilaga 3).

I rapporten har vi använt oss av följande definitioner av markerna vid arealbestämning:

- Träda, kod 49 och ospecificerad åker: Ej livsmedelsproducerande åker.
- Obeskogad öppen mark som inte ingår i Jordbruksverkets statistik: Obeskogad tidigare åkermark.
- Beskogad åker; Åkermarksarealer som försvunnit från åkermarksstatistiken och som idag ofta är beskogade men arealer har även använts till infrastruktur och bostäder.
- Skogsmark; skogsmarken definieras av att det inte varit åkermark i modern tid.

I denna rapport är de två kategorierna "Ej livsmedelsproducerande åker" och "obeskogad tidigare åkermark" sammanslagna och namngivet till "åkermark eller åker".

Beräkning av biomassaproduktion på länsnivå

För beräkning av den totala biomassaproduktionen delas Sverige in i en nordlig och en sydlig del (kapitel 2). Mycket grovt är norr odlingszon 5 och 6, medan södra är odlingszonerna 1-4. Enligt resultaten i kapitel 2 ligger produktionen på åkermark på 8,4 Ton TS för åker södra/mellersta Sverige och 6 Ton TS för norra Sverige. På skogsmarken ligger produktionen på 6 Ton TS södra Sverige och 4 Ton TS för norra Sverige.

Redovisningen av biomassaproduktionen har delats upp på två olika nivåer, åkermark och skogsmark. Biomassaproduktionen som redovisas är inte baserad på den totala arealen utan på en areal som är trolig att kunna planteras i ett första skede. För åkermark innebär det 25 % av tillgänglig areal, och för skogsmark 5 % av tillgänglig areal. För bestämning av den totala biomassaproduktionen har arealen inom varje län multiplicerats med produktionen vid respektive klimat- och odlingslokal.

3.3 RESULTAT OCH DISKUSSION

Identifiering av odlingsarealer

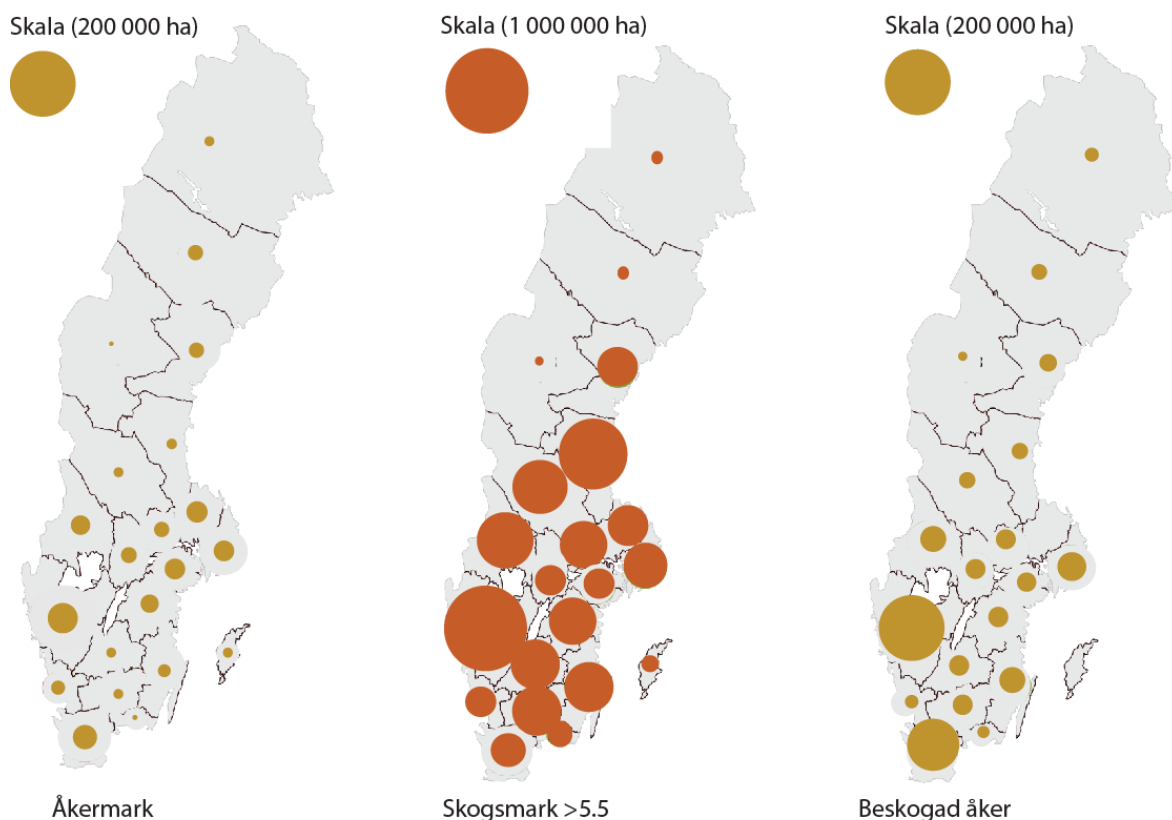
Ej brukade åkermarker

Enligt Lantmäteriets fastighetsdatabas finns det i Sverige 2 747 422 hektar åkermark och enligt SJV 2 551 500 hektar. Mellanskillnaden 195 922 hektar är areal som inte ingår pga. av arealstorlek, registrering som jordbruksfastighet eller att det är marker som lämnats för att spontant växa igen successivt med sly och därefter skog. Det finns arealer registrerade hos SJV som kanske kan vara tillgängliga för poppelplantering. Det är arealer registrerade som ospecificerad åker, träda eller långliggande vall under grödkod 49 (Olsson, 2021). Totalt blir detta ca 478 000 hektar, lokaliserade huvudsakligen i Svealand och Götaland och fördelade på typiska jordbruksregioner som Skåne, Västra Götaland och Mälardalen. Av denna "potentiellt tillgänglig öppen mark" (se kategorin i tabell 3) antas att 25 % kan vara tillgänglig för poppelodling (tabell 4). Eftersom träda ofta ingår i

arealen som cirkulerar i växtföljden kan det vara tveksamt att räkna in den arealen, men en förändring av markanvändning kan göra att marken kan anses som tillgänglig. Den tillgängliga arealen jordbruksmark beräknas då till ca 118 000 hektar vilket är ca 30 000 hektar mer än vad som redovisas av Olofsson och Börjesson (2016). Hur mycket som blir tillgängligt är troligtvis starkt beroende av ekonomiska incitament och rådgivning till markägaren. Vid mycket bra lönsamhet kan andelen tillgänglig areal troligtvis öka markant.

Ungefär 5,6 % av jordbruksmarken (åker och betesmark) i Sverige består av torvjordar. Om även gjyttjejordar räknas in så är andelen 7,6 %, varav 40 % är vall och 16% permanent vall (Berglund m.fl. 2009).

Det finns intressenter som kan ha andra mål användningen av dessa marker, t.ex. för landskapsbild, för hästgårdar eller torvmarker som kan ställas under vatten för att undvika växthusgasutsläpp. Skogsstyrelsen har för närvarande en satsning som betalar markägare för att återveta marker.



Figur 4. Fördelning av tillgänglig total areal fördelad på län. Observera de olika skalorna. För åkermark är den 200 000 hektar (ej livsmedelsproducerande åkermark), för skogsmark 1 000 000 hektar, och för beskogad åkermark som ingår i skogsmarken är skalan 200 000 hektar.

Skogsmark

Det finns ca 8,7 miljoner hektar skogsmark med bonitet 5,5 eller mer (tillväxt på 5,5 skogskubikmeter per hektar och år). Den övervägande delen finns inom odlingszon 1–6. Eftersom poppel är känslig för lågt pH skulle en selektion av marker baserat på pH vara en möjlighet. De tillgängliga pH-mätningar som gjorts återfinns inom ett relativt grovmaskigt nät (figur 3, bild 4) och därför kan inga arealberäkningar över tillgänglig areal utföras med pH som bas. Men ca 88 % av Sveriges

skogsmarksareal har pH 4,97 eller högre i BC-horisonten, från förnan till alv (Stendahl 2021), vilket gör det fullt möjligt att odla poppel på vissa av dessa arealer. Beräkningar på kommunnivå av arealer avgränsas inom odlingszonerna 1–6 främst pga tillgängligt plantmaterial men även för att produktionen är relativt låg. Gränslinjen mellan odlingszon 6 och 7 sammanfaller övergripande med gränslinjen för vegetationsperioden om 150 och 140 dygn enligt SMHI-kartan över vegetationsperiodens längd (figur 3). I odlingszonerna 1–3 eller områden med en vegetationsperiod på mer än 180 dygn återfinns den största arealen skogsmark, drygt 5,1 miljoner hektar.

Det finns poppelkloner som växer även i betydligt hårdare klimat i t.ex. Nordamerika, men troligtvis kommer planttillgången i Sverige begränsa möjligheterna för dessa arealer. Arealen med bonitet 5,5 eller mer uppgår till ca 8,7 miljoner hektar vilket är ca 37 % av den produktiva skogsarealen i Sverige. Av denna skogsareal är ca 6,4 miljoner hektar barrdominerad. De största arealerna återfinns i länen söder om Västerbotten och Jämtland. Knappt 62 000 hektar av arealer med bonitet 5,5 eller mer återfinns i Jämtlands, Västerbottens och Norrbottens län.

Länsvis sammanfaller möjliga odlingszoner ganska väl med arealen med över bonitet 5,5. Andelen mark som kan vara aktuell för återväxtning är inte kvantifierat i denna rapport.

Tabell 3. Arealer: hektar som kan vara möjliga för poppelplantering enligt 2019 års statistik SJV, Historisk jordbruksstatistik samt data från Riksskogstaxeringen. Data från Lantmäteriets Fastighetsdata. Arealer inom odlingszon 1 - 6 egna beräkningar efter kommuner. Annan användning innebär att det försvunnit från SJV:s statistik över åkerareal och en del är nu skogbevuxen.

Marktyp	Tot.areal	Inom odlingszon 1-6
Träda, kod 49 och ospecificerad åker	302 153	288 907
Obeskogad öppen mark som inte ingår i SJV:s statistik	197 893	189 666
POTENTIELL TILLGÄNGLIG ÖPPEN MARK	500 046	478 573
Skogsarealer med bonitet 5,5 eller mer	8 692 245	8 284 367
SUMMA POTENTIELL MÖJLIG AREAL FÖR SNABBVÄXANDE LÖV	9 192 291	8 762 940
<i>Barrdominerade skogar med bonitet 5,5 eller mer</i>	6 623 393	6 277 590
<i>Åkermark som övergått till annan användning</i>	1 296 470	1 112 000

Beskogad åkermark

Som mest åkermark fanns i Sverige mellan åren 1919–1937. Länen i södra Sverige hade som störst areal omkring 1919 medan längst i norr, från Dalarna, Västernorrland och norrut var maximum senare, omkring 1937. Som mest kunde åkerarealen beräknas till ca 3 840 000 hektar. Idag redovisar Jordbruksverket en åkerareal om ca 2 551 500 hektar. Mellanskillnaden på ca 1 296 470 hektar återfinns framför allt som skogsmark men arealer har också försvunnit till bostäder, anläggningar och infrastruktur, se tabell 5. Det finns även en användningsdynamik mellan åker, beten och skogsmark. Det innebär att skogsmark blir åker eller betesmark, beten blir skog alternativt åker, och åker kan bli betesmark eller skog. Projektet Skog o Åker Tur och Retur (Skogsvårdsstyrelsen i Skaraborg) med syftet att spåra areal- och brukningsförändringar mellan 1880-talet och 1980-talet i Skaraborg, redovisade slutsatsen att det över tid varit vanligt att markanvändning skiftar mellan åker - skog - åker beroende på behov (Åkerlund, 1990). Ofta ingår denna marken i skogsmarksarealerna

med bonitet över 5.5. I Jämtlands, Västerbottens och Norrbottens län har ca 113 000 hektar försvunnit som åkermark mellan 1937-2019. Av dem återfinns ca 34 000 hektar inom odlingszon 6. I dessa nordliga län återfinns också ca 33 000 hektar åker som inte brukas. Stora delar av Västernorrland, Gävleborg, Dalarna och Värmlands län befinner sig inom odlingszon 4-6. De arealer som tidigare varit åker inom odlingszon 4 i dessa län och som idag kan vara skogbevuxna, omfattar uppskattningsvis ca 240 000 hektar. Vidare finns där drygt 74 000 hektar åker som inte brukas.

I övriga landet, odlingszonerna 1–3 eller områden med vegetationsperiod mer än 180 dygn, återfinns ca 900 000 hektar som försvunnit som åkermark. Vissa delar har bebyggts men merparten av arealen har troligen blivit skog. I detta område återfinns också den största arealen med skogsmark med bonitet 5,5 eller mer, drygt 5,1 miljon hektar. Utöver dessa arealer finns också ca 365 000 hektar åker som inte brukas, de utgör ca 73 % av den totala arealen potentiell tillgänglig åkermark i Sverige.

Beräkning av biomassaproduktion på länsnivå

Den potentiella biomassaproduktionen är störst i södra och mellersta Sverige. Troligen kommer bara en viss andel av den totala arealen att planteras med poppelodlingar. Ett antagande som gjorts i denna rapport är att 25 % av åkermarken och 5 % av skogsmarken kan planteras. Givet produktionen på de olika markerna och klimatlägen (Kapitel 2) gör att en total biomassaproduktion kan ligga omkring eller över 100 000 ton TS årligen för de flesta av länen i mellersta och södra Sverige. Men det finns regionala skillnader. För Skåne och Västra Götaland kan biomassaproduktionen ligga på 219 000 respektive 510 000 ton TS, (tabell 4). Produktionsnivåerna påverkas av länens storlek men även av tillgängliga arealer samt produktionsförmågan. Man bör därför inte beakta länsgränserna som fysiska gränser utan som administrativa gränser för beräkning av arealer. I både Skåne och Västra Götaland återfinns troligen en stor andel av den beskogade åkermarken i skogsmarksarealen. Vid poppelplantering på skogsmark är det troligaste att det kommer planteras på dessa marker av flera anledningar. Den första är att dessa marker liknar åkermarken så en hög produktion är att förvänta. Den andra är att dessa marker ofta är planterade med gran så kallade "granåkrar" med små ekologiska värden, nära bebyggelse och ersättning av tät granskog med lövträd kommer att förbättra landskapsbilden. Detta är inte bara fallet för Skåne och Västra Götaland utan troligen för alla län där det finns större arealer av beskogad åkermark.

I de fyra nordligaste regionerna är biomassaproduktionen från dessa odlingar 7000 till 82 000 ton TS per år TS. Västernorrland är det län där som har störst produktionsmöjligheter på omkring 80 000 ton TS per år, följt av Västerbotten med 43 000 ton TS per år och Norrbotten med 12 000 ton TS per år. Gotland är ett område med begränsad potential samtidigt som transport från de omgivande Östersjöländerna troligtvis kan vara möjlig både ur ekonomisk och miljömässig aspekt.

På skogsmark med lågt pH är erfarenheterna av poppelodling begränsade. Tidigare forskning har visat att poppel kan planteras om jordens pH höjs genom att kalk eller aska tillförs vid plantering (Böhlenius m.fl. 2020). Tills säkra planteringsmetoder fullt utvecklats för att kunna plantera och odla poppel kan andra alternativ som al och björk vara intressanta. Al har fördelen att inte vara viltbegärlig. Gråalen har visat på produktionsnivåer på 4-5 ton TS per hektar och år på skogsmark och uppemot 7-8 ton TS per hektar och år på åkermark (Johansson 2000; Tullus m.fl., 2013; Rytter, m.fl. 2016). Omloppstiden under nordiska förhållanden kan förväntas vara 25–40 år för gråal (Rytter 2016; Aosaar 2012; Rytter, m.fl. 2013). Vårtbjörken har en medelproduktion på omkring

10 m³sk (skogskubikmeter) per hektar och år på bra marker (Skogskunskap 2021). Förädlad svenskt och finskt plantmaterial kan förväntas växa minst 10–20 % bättre (Liziniwicz, 2021). Produktionen i ton TS per hektar och år med förädlad material hamnar då på 4-5 ton TS per hektar och år, nästan på samma nivå, ca 76 % av det som räknas med för poppel på skogsmark i södra Sverige i denna rapport.

Tabell 4. Beräknad produktionspotential från åker och skogsmark presenterat som antal möjliga processindustrier per region om processindustrin förbrukar 160 000 ton TS per år. 25 % av ej odlad åker samt 5 % av skogsarealen med bonitet 5,5 eller mer inom odlingszon 1-6. Produktion per år 24 m³sk (8,4 ton TS) åker södra Sverige och 18 m³sk (6,3 ton TS) åker norra Sverige. 17 m³sk (5,9 ton TS) skogsmark södra Sverige och 13 m³sk (4,5 ton TS) skogsmark norra Sverige.

Län	Ej odlad	Kbm från	Bonitet 5,5	Kbm från	Total	Prod./år	Antal
	Åker	Åker	Ha Skog	Skog	m ³ /år	Ton TS	Ind.
01 Stockholms	25777	154665	236335	200885	355549	124087	0,78
03 Uppland	28612	171675	399551	339619	511294	178441	1,12
04 Södermanlands	22940	137638	287590	244452	382090	133349	0,83
05 Östergötlands	24392	146352	513857	436778	583131	203513	1,27
06 Jönköpings	15586	93519	623518	529990	623509	217604	1,36
07 Kronobergs	10855	65131	575049	488792	553923	193319	1,21
08 Kalmar	19683	118098	613227	521243	639342	223130	1,39
09 Gotlands	12523	75137	11190	9511	84648	29542	0,18
10 Blekinge	6484	38903	169598	144159	183062	63889	0,40
12 Skåne	53192	319154	364631	309936	629090	219552	1,37
13 Hallands	18639	111831	263222	223739	335570	117114	0,73
14 Västra Götalands	92926	557559	1064820	905097	1462656	510467	3,19
17 Värmlands	27625	124313	746128	484983	609296	212644	1,33
18 Örebro	18700	112197	475534	404204	516401	180224	1,13
19 Västmanlands	15085	90508	258320	219572	310080	108218	0,68
20 Dalarnas	12902	58058	691140	449241	507298	177047	1,11
21 Gävleborgs	21405	96323	707032	459571	555894	194007	1,21
22 Västernorrlands	20270	91216	222043	144328	235544	82205	0,51
23 Jämtlands	3671	16520	5032	3271	19791	6907	0,04
24 Västerbottens	20016	90072	51461	33449	123521	43109	0,27
25 Norrbottens	7289	32802	5089	3308	36110	12602	0,08
SUMMA:	478573	2701670	8284367	6556127	9257797	3230971	20

Tabell 5. Andel av skogsmarken som kan antas ha varit åker tidigare.

	Bonitet 5,5	Jbr ur drift	Kan ha varit Jbr.
Län	Ha Skog	Areal	Areal
01 Stockholms län	236335	86542	37%
03 Uppsala län	399551	-7718	-2%
04 Södermanlands län	287590	58189	20%
05 Östergötlands län	513857	59609	12%
06 Jönköpings län	623518	54534	9%
07 Kronobergs län	575049	55788	10%
08 Kalmar län	613227	78429	13%
09 Gotlands län	11190	-1958	-17%
10 Blekinge län	169598	32575	19%
12 Skåne län	364631	157438	43%
13 Hallands län	263222	40000	15%
14 Västra Götalands län	1064820	200402	19%
17 Värmlands län	746128	90300	12%
18 Örebro län	475534	59534	13%
19 Västmanlands län	258320	66333	26%
20 Dalarnas län	691140	49885	7%
21 Gävleborgs län	707032	49642	7%
22 Västernorrlands län	222043	53181	24%
23 Jämtlands län	5032	28205	560%
24 Västerbottens län	51461	47405	92%
25 Norrbottens län	5089	38155	750%
SUMMA:	8284367	1296470	16%

Negativt värde, främst beroende av förändringar av länets storlek.

Gotland har nyodlat arealer, främst av våtmarker.

Att det är mycket stora förändringar beror delvis på att skogsarealer exkluderats pga dålig bonitet eller växtzon samt att åker med sämre förutsättningar beskogsats.

4 TRANSPORT OCH ODLINGSEKONOMI

4.1 INTRODUKTION

Denna rapport delar upp odlingen av poppel till råvara för biomassa för industrin i fyra olika geografier samt begränsning av arealer till odlingszoner 1-6 efter förmåga att producera biomassa. Uppdelningen görs också mellan idag öppen jordbruksmark och skogbevuxen mark, och mellan norra och södra Sverige. Norra Sverige inkluderar Värmlands, Dalarnas, Gävleborgs, Västernorrlands, Jämtlands, Västerbottens och Norrbottens län. Dessa sju län/regioner bedöms ha något sämre klimatförhållande vilket medför lägre biomassaproduktion än södra Sverige. Till en del beror det på i Sverige tillgängligt plantmaterial. Biomassaproduktionen bedöms också vara sämre på mark som idag är skogbevuxen än på jordbruksmark.

Transport av biomassa till uppbearbetningsindustri inkluderas i produktionskostnaden, liksom skörd och skotning av biomassa till lastbilsväg. Det finns flera kalkyler för energigrödor som bl.a. salix och andra åkergrödor (Rosenqvist, m.fl., 2019) och för biomassa som grot från skogsbruket. Däremot finns det få kalkyler för nyttjande av hela trädstammar, samt kalkyler för skogsbrukets konventionella maskinpark för biomassa som råvara för drivmedel. Enkelheten och effektiviteten i ett sådant produktionssystem har fördelar. Den relativt sett höga kvaliteten på biomassa i form av stamvirke kan föra med sig hanteringsmässiga fördelar i industrin men kan också vara attraktiv för annan industri och andra ändamål. Anläggning av snabbväxande löv kan vara första steget i ett BECCS-system (BioEnergy with Carbon Capture and Storage) är inlagring av assimilerad koldioxid i biomassa ses som ett alternativ för kortvarigare borttagande av koldioxid eftersom assimileringen av koldioxid är betydande både ovan jord samt under jord (Karlsson, m.fl., 2020).metod

Ekonomi för två olika omloppstider, tid från plantering till en första skörd efter 20 respektive 30 år har beräknats inklusive skörd och transport till industri.

Anläggning av poppelodling bedöms vara likartad både i norr och i söder på respektive marktyp men skiljer sig åt mellan jordbruksmark och på idag beskogad mark (se utförligare beskrivning under kapitel 2 om flexibilitet kring etableringsförutsättningar för poppelodlingar). I analysen om anläggningskostnader har planteringar inte stängslats, däremot behandlas plantor med viltrepelent de första tre åren. Om denna åtgärd räcker för att skydda plantor från betning är inte vederlagt utan är ett utvecklingsbart kunskapsområde. Metoden används idag inom skogsbruket för att förhindra betesskador på bl.a. tall så förutsättningen att den ska fungera på poppel kan anses realistisk. Bedömningen är att stängsling inte är rimligt om storskalig odling ska kunna genomföras. Det som talar för att poppel kan klara sig utan hägn är att den inte brukar vara lika hårt drabbad av viltskador som hybridasp (Böhlenius m.fl., 2016; Löf m.fl., 2010).

Tabell 6. Kostnader för etablering, produktion och skörd av poppel. Ovanstående tabell för omloppstid 20 år södra Sverige.

Poppelplantering Skogsmark, 20 år, produktion 5 ton TS ha o år		Poppelplantering Jordbruksmark, 20 år produktion 7 ton TS ha o år	
	Summa		Summa
Hyggesrensning	1190	Markbehandling före plantering Glyfosat m.m.	636
Markberedning	2766	Plantor	8999
Plantor	8999	Plantering	3889
Plantering	3889	Jordfräs & behandling mellan raderna 3 år	1905
Plantbehandling, viltrepellent 4 år	5000	Plantbehandling, viltrepellent 4 år	5000
Ränta 4%	10485	Ränta 4%	9806
Avskrivning 20 år	21844	Avskrivning 20 år	20429
Skörd & Skotning Kr per fub, 400 meter	31416	Skörd & Skotning Kr per fub, 400 meter	44352
Totalt	85588	Totalt	95015

Kostnader för avverkning hanteras med konventionellt maskinsystem för skogsbruk, skördare och skotare. Virket hanteras som rundvirke både vid skotning och lastbilstransport, eftersom det i denna hantering regelmässigt används volymmåttet m^3fub som är ett vanligt mått vid försäljning av virke efter avverkning (Björklund, 2014). Omräkningstalet, från m^3sk till m^3fub är 0,84 och bedöms som en rimlig faktor. Det som skiljer de två enheterna (m^3fub respektive m^3sk) är att barkandelen och topp räknas bort i m^3fub . Barkandelen på utvuxen asp beräknas till 11 % (Piccionia m.fl. 2008; Liepinš, 2015) vilket här använts för poppel och andelen topp beräknas till 5 %. Andra hanteringsvägar än rundvirke har valts bort. Ett sådant exempel är att inte kvista virket utan bara kapa det i vissa längder och sedan skota och transportera till industri med lastbil utrustad med klämbalk. Virket skulle också kunnat flisas på plats och transporteras i lastväxlarflak. Grot har inte inkluderats i volymen levererad biomassa då det bedömts vara allt för små volymer för att motivera en egen insats för skotning och transport enligt vald metod. Det valda hanteringssystemet kanske därmed avstår från upp till ca 10 % av möjlig biomassaskörd från grenar men får å andra sidan ett mycket enkelt och hanterbart system samt en högkvalitativ biomassaprodukt. Normalpriset för biomassan är satt till 20 Euro per MWh (Lönqvist, m.fl., 2021) Priset för biomassan är levererat industri och som rundvirke vilket vid kursen 10,087 SEK per EUR innebär ca 201,7 SEK per MWh, här avrundat till 200 SEK per MWh eller 1000 SEK per ton TS. Växlingskursen är ett genomsnitt av Riksbankens växelkurs under fem år, från 2016 till 2020.

Odling av energiskog i form av salix, poppel och hybridasp på åkermark är idag berättigad till gårdsstöd samt investeringsstöd. Dessa stöd är inte inkluderade i den ekonomiska kalkylen. Vidare har i dagsläget varje borttagen mängd koldioxid ett pris eller värde som inte är inkluderat i analysen. I mars 2021 kostade utsläppsrätter inom EU ca 440 SEK per ton koldioxid (Energimyndigheten, 2021) och den svenska koldioxidskatten är idag 1200 SEK per ton koldioxid (Gustafsson, 2021). Den svenska skatten motsvarar cirka 600 SEK per m^3 eller mellan 14 000 till 8000 SEK per hektar och år för de olika exemplen av biomassatillväxt i tabell 4.

För södra Sverige beräknas transporten kunna lasta 43 ton på ett 64 tons-ekipage och för norra Sverige 47,3 ton på ett 70 tons-ekipage med fast monterad kran, det så kallade Götalands alternativet (Johansson, K, personlig kommunikation, 2021; Fjeld, m.fl., 2021; Walls och Lindblad, 2017; Noreland, 2020; Asmoarp och Hofsten, 2019; Asmoarp, m.fl. 2020). Vid bägge fallen är vikten begränsande för lasten och inte volymen eftersom virket körs färskt. Den genomsnittliga transportsträckan har satts till 75 km vilket betyder att de praktiska transporterarna både är kortare och längre. Fraktkostnaden uppgår då till 43 SEK per MWh i södra Sverige och 39 SEK i norra Sverige. Idag är transportavståndet i genomsnitt 91 km per virkestransport och varje transport kan lasta ca 125 m^3

travat mått per 64 tons bil om inte vikten begränsar volymen (Johansson, K, pers. Kom., 2021. Fjeld. M.fl., 2021. Walls och Lindblad., 2017, Noreland 2020, Asmoarp och Hofsten., 2019, Asmoarp, m.fl., 2020).

4.2 RESULTAT OCH DISKUSSION

För hela produktionsomloppet från plantering till biomassa levererad till industrin är det grundpris som kalkylen baseras på ca 20 EUR per MWh eller mer exakt 200 kr per MWh levererat till industri.

Som redovisas i tabell 7 betyder omloppstid mycket för resultatet och längre omloppstid upp till 30 år ger bättre odlingsekonomi. Detta kan förklaras med att poppelns tillväxt inte beräknas avta upp till och med 30 års ålder och därmed skördas mer biomassa per ekonomisk insats och att tillväxten överstiger använd räntefaktor på investeringen. Vid plantering på skogsmark slår den beräknade lägre tillväxten igenom. Här finns dock en stor osäkerhet eftersom tillväxtdata för poppel och hybridasp på skogsmark är begränsade. Den tillväxt som skördas och används i kalkylen är 20,16 och 15,12 m³ fub på jordbruksmark för södra respektive norra Sverige och motsvarande 14,28 respektive 10,92 m³ fub på skogsmark. I kalkylen är inte barken medräknad även om den skulle kunna generera ett tillskott på 11 volymprocent.

Tabell 7. Produktionskostnad från odling till industri uttryckt i kr per MWh, per ton TS samt per ton assimilerad koldioxid i stamved som levereras till industri.

Kostnad odling, skörd och transport till industri				
	Södra Sverige	Kr	Norra Sverige	Kr
Jbr.Mark 20 år	per MWh	180	per MWh	200
	per ton TS	899	per ton TS	999
	per ton ass.CO2	521	per ton ass.CO2	579
Jbr.Mark 30 år	per MWh	160	per MWh	174
	per ton TS	802	per ton TS	870
	per ton ass.CO2	465	per ton ass.CO2	504
Skogsmark 20 år	per MWh	215	per MWh	247
	per ton TS	1074	per ton TS	1233
	per ton ass.CO2	622	per ton ass.CO2	715
Skogsmark 30 år	per MWh	187	per MWh	208
	per ton TS	936	per ton TS	1042
	per ton ass.CO2	543	per ton ass.CO2	604

Det ekonomiska resultatet påverkas mycket snabbt av en förändring av priset för biomassan. En ökning med 42 SEK per MWh ger förbättrad markersättning för jordbruksmark i södra Sverige (30 års omloppstid) från 500 SEK per hektar och år till 2000 SEK per hektar och år (tabell 8). En ökning med 0,7 SEK per kWh innebär positiv ekonomi för det minst ekonomiska exemplet, skogsmark, norra Sverige och 20-årig omloppstid. Värt att notera i den ekonomiska kalkylen är etableringskostnaden som är mycket större än för exempelvis konventionell granplantering. Det som framför allt sticker ut är kostnaderna för plantor, plantering och plantbehandling som är högre.

Detta påverkar naturligtvis också kapitalkostnaderna. Eftersom poppel kan förökas med sticklingar är det idag möjligt att förbilliga plantor och plantering. Här spelar traditionen och erfarenhet med att plantera plantor med rot (dyrare) stor roll i skiftet mot att plantera sticklingar (billigare).

I den ekonomiska kalkylen är kapitalkostnaden i form av ränta och avskrivning den största kostnadsposten om ca 60 % eller mer för de olika exemplen. Det borde finnas goda möjligheter till kostnadsreducering av plantor och plantering av poppel. Jämförelsevis med konventionell gran borde kostnaden för plantor och plantering kunna reduceras med i storleksordningen 26 % när produktionen av poppelplantor samt poppelplantering blir en utvecklad verksamhet. Det minskar också kapitalkostnaden och totalt blir kostnadsreduceringen drygt 13 000 SEK per hektar.

I tabell 8 redovisas vilka priser per MWh som kan ge marknetto/arrende i olika storleksordningar, från 500 SEK per hektar och år till 2500 SEK per hektar och år. Marker som i första hand väljs ut till att plantera på borde vara mindre bördiga marker och som jämförelse av det ekonomiska utfallet är havreodling. Vid en skördenivå på 4200 till 5400 kg kärna hamnar havrekalkyler (Rosenqvist 2019) på 329 respektive 1243 SEK per hektar i marknetto. Det marknettet kan jämföras med de i tabell 8 redovisade marknetton vid olika energipriser för biomassa. Skogsmark i södra och mellersta Sverige avkastar ca 1000 till 1800 SEK per hektar och år (Kumm, 2013; Petré, 2010). Tyvärr finns få redovisningar som visar på hur olika bördighet (bonitet) påverkar avkastningen. En avgränsning i beräkningen i denna rapport för odlingskostnaderna är att andra generationen poppelodling inte inkluderats. En skillnad mot exempelvis normal skogsproduktion av tall och gran är att poppel skjuter rotskott och stubbskott som innebär att kostnaden för etablering efter avverkning inte behövs utan här kommer kostnaden att vara mycket låg. Mycket tyder på att dessa odlingar kan skötas med eller utan gallringsprogram och att produktionen är minst lika hög som den första planteringen. Dock är kunskapsläget för skötsel av nästföljande generationer ett utvecklingsbart kompetensområde.

Tabell 8. Pris per MWh för levererad stamved till industri för att ge olika marknetto, kronor per hektar och år i intervall om 500 kr, 1000 kr, 1500 kr, 2000 kr och 2500 kronor för olika landsdelar, marktyper och omloppstid.

			Pris per MWh för att ge följande marknetto, kr/år				
Marknetto 500 - 2500 kr per ha o år:			500 kr	1 000 kr	1 500 kr	2 000 kr	2 500 kr
<i>Jordbruksmark</i>	<i>S.Sverige</i>	<i>30 år</i>	175	189	203	217	232
<i>Jordbruksmark</i>	<i>S.Sverige</i>	<i>20 år</i>	194	208	222	236	251
<i>Skogsmark</i>	<i>S.Sverige</i>	<i>30 år</i>	201	214	227	241	254
<i>Skogsmark</i>	<i>S.Sverige</i>	<i>20 år</i>	235	255	275	295	315
<i>Jordbruksmark</i>	<i>N.Sverige</i>	<i>30 år</i>	193	212	231	250	269
<i>Jordbruksmark</i>	<i>N.Sverige</i>	<i>20 år</i>	219	238	257	276	294
<i>Skogsmark</i>	<i>N.Sverige</i>	<i>30 år</i>	226	243	261	278	296
<i>Skogsmark</i>	<i>N.Sverige</i>	<i>20 år</i>	273	299	325	352	378

Det är troligt att andra trädslag som björk och gråal troligtvis kan uppvisa ekonomiskt likartat resultat som poppel på skogsmark, speciellt i norra Sverige. Att mixa planteringar med bra björkkloner samt gråal kan dessutom ge andra positiva effekter på landskapsnivå.

4.3 SLUTSATS

- Poppel ger en positiv markersättning vid etablering på jordbruksmark i södra och mellersta Sverige.
- Även om det finns ett fåtal äldre försöksytor och några nya etablerade försöksytor i norra Sverige är erfarenheten liten av etablering av poppel där, och kalkylen blir därför osäker. På åkermark i norra Sverige finns några få men mycket produktiva planteringar.
- En prisökning per kWh med 25-35 % ändrar lönsamheten dramatiskt. För att uppnå samma effekt måste produktionskostnaderna minska med 40 % alternativt etableringskostnaden per hektar minska med 85 %.
- Beroende på odlingsekonomi kan det finnas ca 118 000 hektar jordbruksmark tillgängligt vilket gör att arealen i dagsläget inte är begränsande.
- Den största arealpotentialen finns i södra upp till mellersta Sverige inom odlingszonerna 1-3.
- Det finns relativt stora arealer barrdominerad skogsmark varav en del kan klassificeras som granåkrar som borde vara intressanta att odla snabbväxande lövträd på.

5 RÅVARUANALYS

5.1 INTRODUKTION

Bränslekaraktäristik på poppel odlade på åker med kort omloppstid återfinns i litteraturen. Dess karaktäristik liknar till viss del den hos salix, medan karaktäristiken hos poppel odlad utifrån längre omloppstid ej är sammanställd och utvärderad. Då tjockare dimensioner bör innehålla mer stamved och mindre andel askrika komponenter såsom bark och grenar bör detta ha positiva effekter på bränslets egenskaper. Det är framför allt med avseende på bränslets askbildande element som poppel skiljer sig mot traditionella stamveds- och skogsbränsle-baserade sortiment. Poppelns bränsleaska domineras av Kalcium (Ca), kalium (K) och har moderat innehåll av fosfor (P) (Hedayati m.fl., 2021; Phyllis, 2021).

Vid förbränning och förgasning omvandlas de askbildande elementen i bränslet till aska som återfinns som exempelvis botten- och flygaska. Det är särskilt intressant att veta om askan börjar smälta under den process som studeras eftersom det kan ge upphov till askrelaterade driftsproblem. Den bildade askan kan vid förgasning och förbränning av biobränslen antingen bestå av en salt-smälta, t. ex en blandning av smält kaliumsulfat (K_2SO_4), kaliumklorid (KCl), kalium-kalciumkarbonat (K_2CO_3 - $CaCO_3$) och/eller en oxidsmälta där olika oxider, fosfater och silikater bildar en smälta. Saltsmältorna är lågviskösa och är därför inte så klibbiga emedan oxidsmältorna är högviskösa och är därför mer klibbiga. Vid förgasningssammanhang kan klibbiga asksmältor som uppkommer vid så kallad fluidbäddsförgasning och så kallad fastbäddsförgasning ge upphov till driftproblem genom bildning av bäddagglomerat/-sintring (fluidbädd) och slaggbildning (fastbäddsförgasning). Vid så kallad medströmsförgasning eftersträvas ofta en asksmälta med rätt reologiska förhållande, dvs att smältan har en viskositet (<25 Pas) som medger att smältan kan rinna ner efter keraminfodringen i reaktorn och därmed inte plugga reaktorn och i stället skydda infodringen mot t.ex. alkaliangrepp (oftast pga alkaliföreningar i gasfas) (Ma, C. 2017). Saltsmältor har alltid en sådan viskositet emedan många oxids(silikat)mältor ofta har en högre viskositet.

5.2 METOD

Bränslesammansättningen/karaktäristiken hos poppelråvaran producerad utifrån olika skogsskötselprogram och uttagsprocesser analyserades och utvärderades. Litteratordata sammanställdes och kompletterades med bränsleanalyser utförda på unga bestånd (klana diametrar), medelåriga bestånd (10-åriga och diametrar om ca 10-15 cm) och äldre bestånd (25-åriga och diametrar över 30 cm). Såväl grot- som rundvedsfraktioner karaktäriserades. Poppelns förgasnings/ förbränningskaraktäristik jämfördes med andra kända bränslens egenskaper utifrån bränslesammansättningen och kompletterande termokemiska modellberäkningar. Särskilt beaktades poppelns askkemiska egenskaper då askans beståndsdelar skiljer sig mot ordinarie stamvedsbaserad skogsråvara.

Provtagning

Bränsleprov togs ut dels från ett 30-årigt bestånd som hade en diameter på 30 cm i brösthöjd, dels från ett tolvårigt bestånd (10-15 cm brösthöjdsdiameter). Poppelklonen i dessa två bestånd var OP42, vilket är en av de vanligaste planterade poppelklonerna och är samma klon som biomassa-produktionen som är beskriven i kapitel 2.

Det 30-åriga beståndet var beläget i Götene kommun (SWEREF99 TM. nord, öst, 6486716, 416885) och det tolvåriga i Skövde kommun (SWEREF99 TM. nord, öst, 6481337, 433559). Ett typiskt träd från respektive bestånd fälldes manuellt med motorsåg. Såväl grotfraktioner som rundvedsfraktioner (stam och bark) togs ut. Bestånden som valdes representerar två typiska odlingar på jordbruksmark. Bestånden valdes med avseende på tillväxt och stamantal för att representera odlingssystemet beskrivet i kapitel 2.

Från det fällda trädet från det 30-åriga beståndet sågades sju cylindrar (jämnt fördelat över stammens höjdriktning) om 4 cm tjocklek (se svarta streck utöver stammen i figur 4 t.v.). Grenprov med 30 cm längd sågades också ut från mitten av tre typiska grenar. Dessa grenprov innehöll inga löv.

Från det fällda trädet från det tolvåriga beståndet sågades sex cylindrar (jämnt fördelat över stammens höjdriktning) om fyra cm tjocklek ut. Grenprov togs också ut från representativa grenar från trädet, totalt sex prov. Två olika prov från den uttagna grotfraktionen provbereddes, dels en med löv, dels en där löv avlägsnats.

Halva sfären av de uttagna provcylindrarna från de fällda träden delades för hand (med yxa, sax och cirkelsåg) till en partikelstorlek på ca 1*2 cm och därefter maldes de ner till ett fint pulver hos det externt anlitade bränsleanalyslaboratoriet (ALS Luleå/Prag). För det 30-åriga trädet avlägsnades dessutom barken från stamveden från den andra halvsfären från de uttagna rundvedsprov-cylindrarna innan neddelning. Av tabell 9 nedan framgår de sju prov som slutligen analyserades.

Tabell 9 Analyserade bränsleprov.

Bränsleprov	Förkortning
<u>30 årigt bestånd</u>	
Rundvedsfraktion (stam+bark)	P30r
Rundvedsfraktion endast stam	P30s
Rundvedsfraktion endast bark	P30b
Grotfraktion utan löv	P30g
<u>12 årigt bestånd</u>	
Rundvedsfraktion (stam+bark)	P12r
Grotfraktion med löv	P12g+l
Grotfraktion utan löv	P12g

Bränsleanalyser

Alla de sju sammanställda poppelproverna (se tabell 9) analyserades med avseende på total fukt, aska, kol (C), väte (H), kväve (N), svavel (S), S, klor (Cl), värmevärde samt askbildande huvudelement dvs natrium (Na), K, Ca, magnesium (Mg), mangan (Mn), aluminium (Al), järn (Fe), kisel (Si), P. Bränsleanalyserna gjordes vid ALS:s bränslelaboratorium i Luleå och Prag enligt de metoder som redovisas i tabell 10. Fuktanalyserna kommer inte redovisas i denna rapport då bränsleprover analyserades först efter att de legat och torkats i rumsvärme innan analys.

Tabell 10 Metod för bränsleanalyser.

Bränsleanalys	Metod
Total fukt	CSN EN ISO 18134-1,
Aska	SS-EN 15934
Värmevärde	CSN ISO 1928
Flykthalt	CSN ISO 562
Kol, väte, kväve	CEN/TS 15104
Syre	Beräknat som differens
Klor	SS EN ISO 17294-1, (mod)
Svavel	SS EN ISO 11885 (mod)
Askbildande huvudelement (Na, K, Ca, Mg, Mn, Al, Fe, Si)	SS EN ISO 11885 (mod)

Termokemiska modellberäkningar

Termokemiska modellberäkningar utfördes för fem av de analyserade poppelbränsleproverna dvs. för P30r, P30g, P12r, P12g och P12g+l. Dessa beräkningar fokuserade på att karaktärisera askbildningsförloppet vid förgasning och förbränning för respektive poppelprov och jämföra dessa förlopp med mer välkända biobränslens. Därför utfördes också modellberäkningar på ett antal typiska bränslesammansättningar med mer känt förbrännings-/förgasningskaraktäristik, d v s för salix, barrbark, barrgrot samt stamved från barrved. Dessa sammansättningar hämtades från Värmeforsks bränslehandbok (Strömberg, m.fl., 2012) och utgjorde medianvärdena för ett flertal analyserade bränsleprov från respektive bränslesortiment. Som ingångsdata vad gäller ingående huvud- och askbildande element nyttjades bränsledata från tabell 12 nedan resp. figur 5 ovan. För samtliga bränslen utfördes beräkningarna vid en fukthalt om 30 viktsprocent. Modellberäkningar utfördes med programmet FACTSage-7.2 (Bale, C. m.fl. 2002) Programmet bygger på en minimering av Gibbs fria energi för det system man undersöker. I beräkningarna har termodynamiska data för gas-komponenter såväl som stökiometrisk kondenserade faser, tre icke ideala lösningar (två salt- och en oxid/slagglösning) och nio icke ideala fasta lösningar använts. Termodynamiska data hämtades från FACT-databasen som medföljer programmet.


Figur 5. Provvuttag – Rundveds- och grotfraktioner från 30-årigt poppelbestånd.

Beräkningar utfördes för att simulera förloppet vid luftblåst atmosfärisk förgasning och förbränning. Vid förgasnings- och förbränningsmodelleringarna utfördes beräkningarna vid 800, 1000 och

1200 °C vid normalt lufttryck (1 bar) och med ett luftunderskott/-överskott motsvarande en luftfaktor på 0,35 (förgasning) respektive 1,2 (förbränning). Utifrån beräkningarna och bränslesammansättningen bestämdes andelen bildad smälta i gram per kg vått eldat bränsle, samt mängden askbildande element i bränslet som avgick till gasfasen (g/kg vått bränsle).

5.3 RESULTAT OCH DISKUSSION

Poppelprov – bränsleegenskaper

Av tidigare poppelprovsanalyser som redovisas i den välrenommerade och en av de mest uppdaterade bränsledatabaserna på biobränsleområdet, dvs den nederländska (TNOs) databasen Phyllis 2, framgår att ask-, kväve-, svavel- och klorhalten varierar mycket mellan de analyserade proven (se tabell 2.3). Den största orsaken till detta är troligen att olika delar från själva trädet/busken har analyserats då bark- och grotdelar från träd har betydligt högre ask-, kväve-, svavel- och klorhalt än t.ex. stamveden. Skillnader i trädets ålder (klana träd ger upphov till större andel bark än stamved), klon och växtplats kan troligen också ge upphov till skillnader i dessa halter. Relativt få analyser med avseende på poppelns innehåll av askbildande huvudelement finns redovisade i Phyllisdatabasen (endast fyra prov redovisas). Av dessa framgår att bränsleaskan hos de analyserade proven domineras av Ca (30-50 viktsprocent räknat som CaO), K (10-24 viktsprocent räknat som K₂O) och P (0,2-15 viktsprocent räknat som P₂O₅).

Tabell 11. Bränslesammansättning hos tidigare analyserade poppelprov – från databasen Phyllis 2 (<https://phyllis.nl>).

	Min	Max	Median	Medel	Std dev		Antal prov
Askhalt (% torrt)	0,40	2,70	1,22	1,28	0,69	54%	17
Flykthalt (% torrt askfritt)	71,8	87,5	84,8	82,6	6,11	7%	6
Heff (MJ/kg, torrt askfritt)	17,3	19,5	18,4	18,5	0,64	3%	12
C (% torrt askfritt)	44,8	52,0	49,7	49,8	1,92	4%	13
H (% torrt askfritt)	5,60	6,34	6,07	6,05	0,20	3%	13
O (% torrt askfritt)	41,6	48,6	43,9	43,8	1,95	4%	13
N (% torrt askfritt)	0,10	1,02	0,32	0,39	0,28	71%	11
S (% torrt askfritt)	0,001	0,05	0,03	0,03	0,02	67%	10
Cl (% torrt askfritt)	0,008	0,10	0,012	0,034	0,039	114 %	9

Utifrån både de poppelanalyser som redovisas i Phyllisdatabasen (tabell 11) och som analyserats inom ramen för detta arbete (tabell 12) framgår att C-, H-, O-halten, såväl som flykthalten och värmevärdet inte varierar nämnvärt mot andra trädbränslebaserade sortiment (t.ex. stamved/sågspån) räknat på torr och askfri basis. Askhalten varierar betydligt mellan de i detta arbete analyserade poppelfraktionerna. Stamveden hos det analyserade poppelprovet (P30s) liknar den hos sågspån emedan de båda analyserade rundvedsfraktionerna (P12r och P30r) liknar mer den hos salix. Det bör

dock nämnas att de analyserade poppelgrot-fraktionerna (P12g, P12g+l), P30g) har lägre askhalt än typisk barrgrot och liknar mer salixens askhalt. Det analyserade poppelbark-fraktionen (P30b) har dock en högre askhalt än typisk barrbark. En intressant iakttagelse är att rundvedsfraktionen från det äldre poppelbeståndet hade en signifikant högre askhalt än hos det yngre beståndet vilket kan bero på att barken var betydligt tjockare hos det äldre beståndet. Utifrån skillnaderna i analyserad Ca- och K halt hos rundveden, stamveden och barken hos det äldre poppelbeståndet kunde andelen bark uppskattas till att utgöra 15-18 viktsprocent på torrbasis hos rundveden.

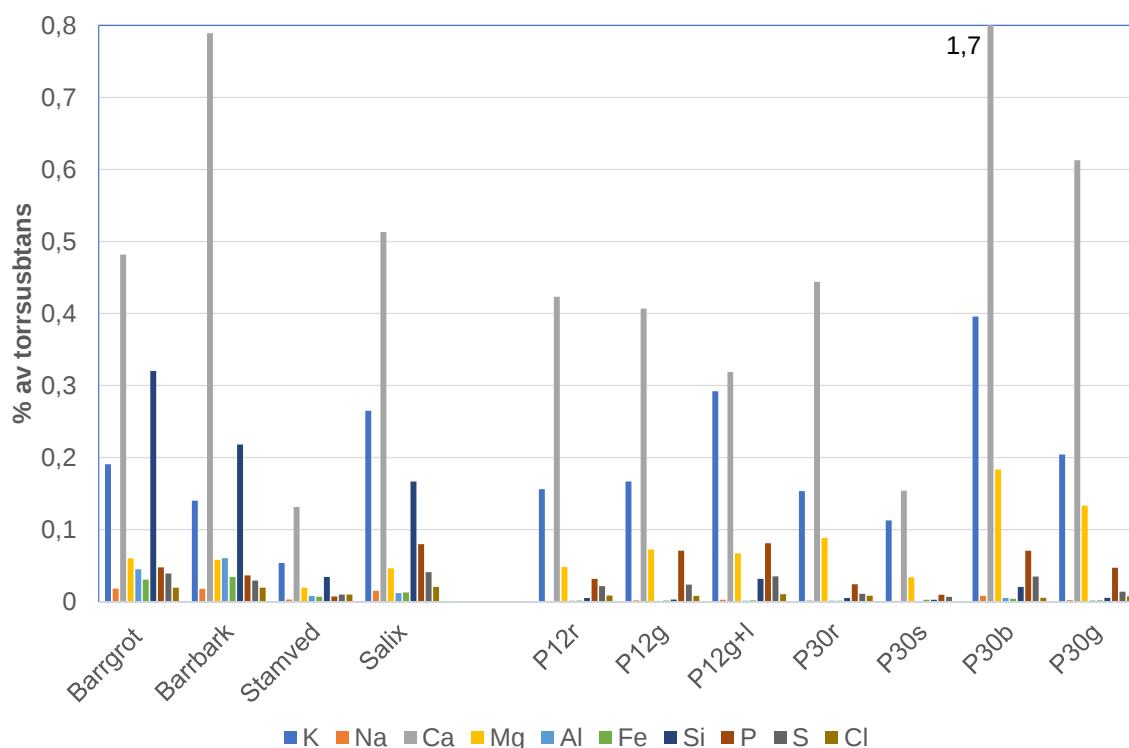
Den analyserade stamvedsfraktionen från poppel (P30s) har liknande N-, S- och Cl halt som hos typisk stamved/sågspån. N-halten hos de analyserade grotpoppel-proverna har liknande halter som den hos traditionell barrgrot och barkfraktionens (P30b) N-halt liknar den hos typisk barrbark. Cl-halterna är förvånansvärt låga hos samtliga analyserade poppelprover och i paritet med den hos typisk stamved/sågspån. S-halten hos poppelproverna följer halterna hos liknande typiska skogsbränslefraktioner.

Tabell 12 Bränslesammansättning hos analyserade poppelprov och jämförelse med andra biobränsleprov.

	P12r	P12g	P12g+l	P30r	P30s	P30b	P30g	Salix ¹	Stamved (Sågspån) ¹	Barrbark ¹	Barrgrot ¹	Halm ¹
Askhalt (% torrt)	1,5	1,6	1,7	2,3	0,70	5,7	1,7	2,1	0,60	3,0	2,65	4,95
Flyktiga ämnen (% torrt askfritt)	84,9	83,2	81,3	83,4	86,8	75,8	85,0	81,6	84,3	n.a.	75,6	n.a.
Heff (MJ/kg, torrt askfritt)	18,1	18,6	18,7	18,7	18,1	18,7	18,6	18,6	19,1	20,3	19,5	17,6
C (% torrt askfritt)	48,5	50,0	49,9	50,2	48,6	53,0	49,8	49,7	50,9	53,7	51,1	48,3
H (% torrt askfritt)	6,6	6,3	6,5	6,4	6,6	6,5	6,4	6,1	6,1	6,1	6,1	5,9
O (% torrt askfritt)	44,5	43,2	42,1	43,4	44,7	40,3	43,6	43,6	42,8	39,8	40,1	44,8
N (% torrt askfritt)	0,18	0,25	0,41	0,15	0,14	0,36	0,12	0,50	0,10	0,31	0,40	0,60
S (% torrt askfritt)	0,02	0,02	0,036	0,011	0,01	0,04	0,01	0,04	0,01	0,03	0,04	0,08
Cl (% torrt askfritt)	0,01	0,008	0,01	0,008	n.a.	0,01	0,01	0,02	0,01	0,02	0,02	0,12

¹⁾ Medianvärden av flertalet bränsleprovsanalyser hämtade från SVF Bränslehandboken.

Poppelprovernas askbildande element domineras av Ca och K vilket är i likhet med andra trädbränslen (se figur 5) men till skillnad från typiska barrgrot och -bark så innehåller dessa väldigt lite Si och andra anjoner, dock en del P. Halterna av spårelement som t ex kadmium (Cd) är av samma storleksordning hos de uttagna poppelproverna som hos typiska skogsbränslen (0,2-0,5 mg/kg TS). Hos t.ex. salix ligger Cd-halterna ofta en faktor 10 gånger högre.

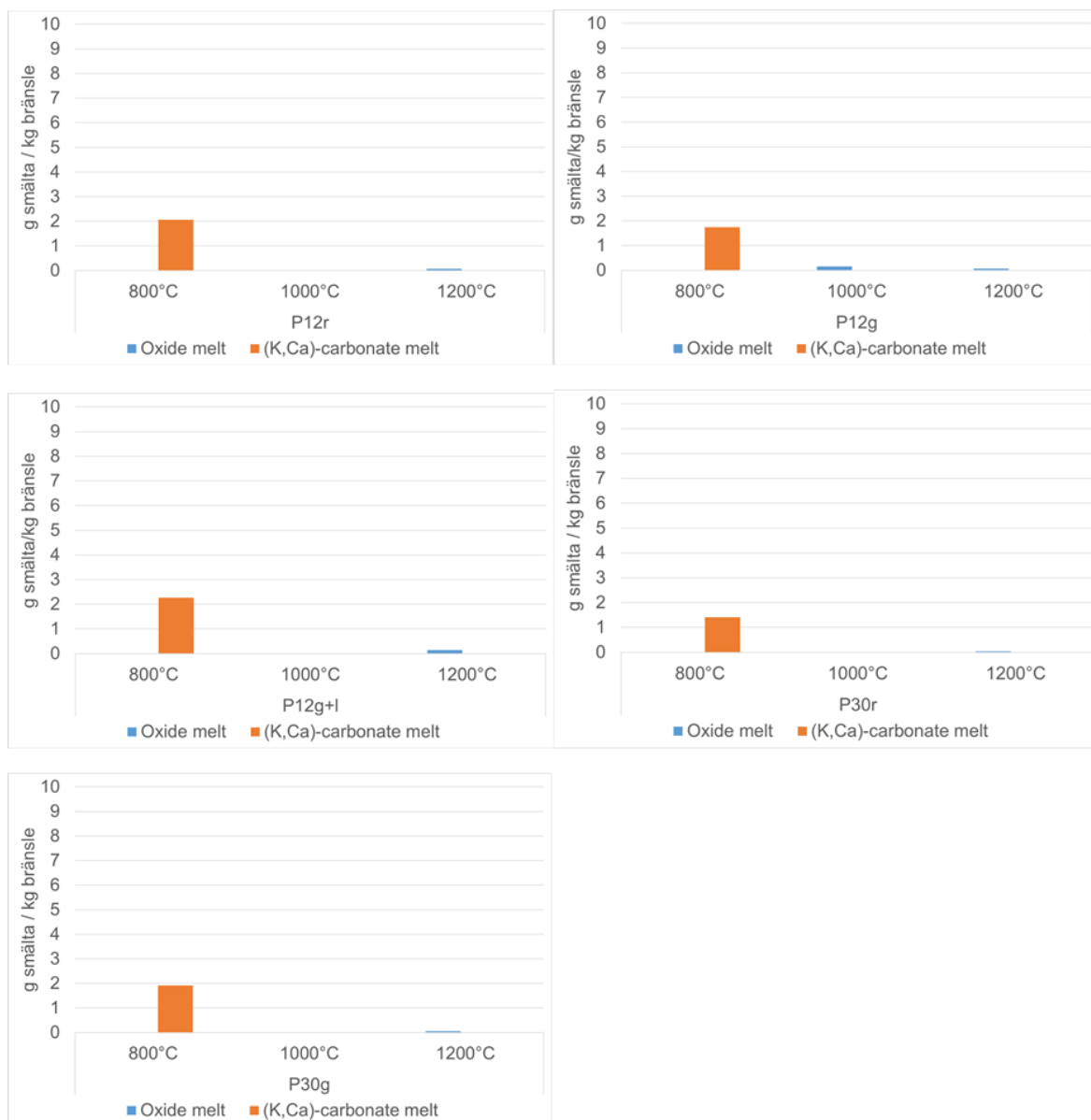


Figur 6 Bränslesammansättning m a p askbildande huvudelement för de olika uttagna poppelproverna samt jämförelse med medianhalterna (tagna från bränslehandboken²) för några andra trädränsle-baserade sortiment.

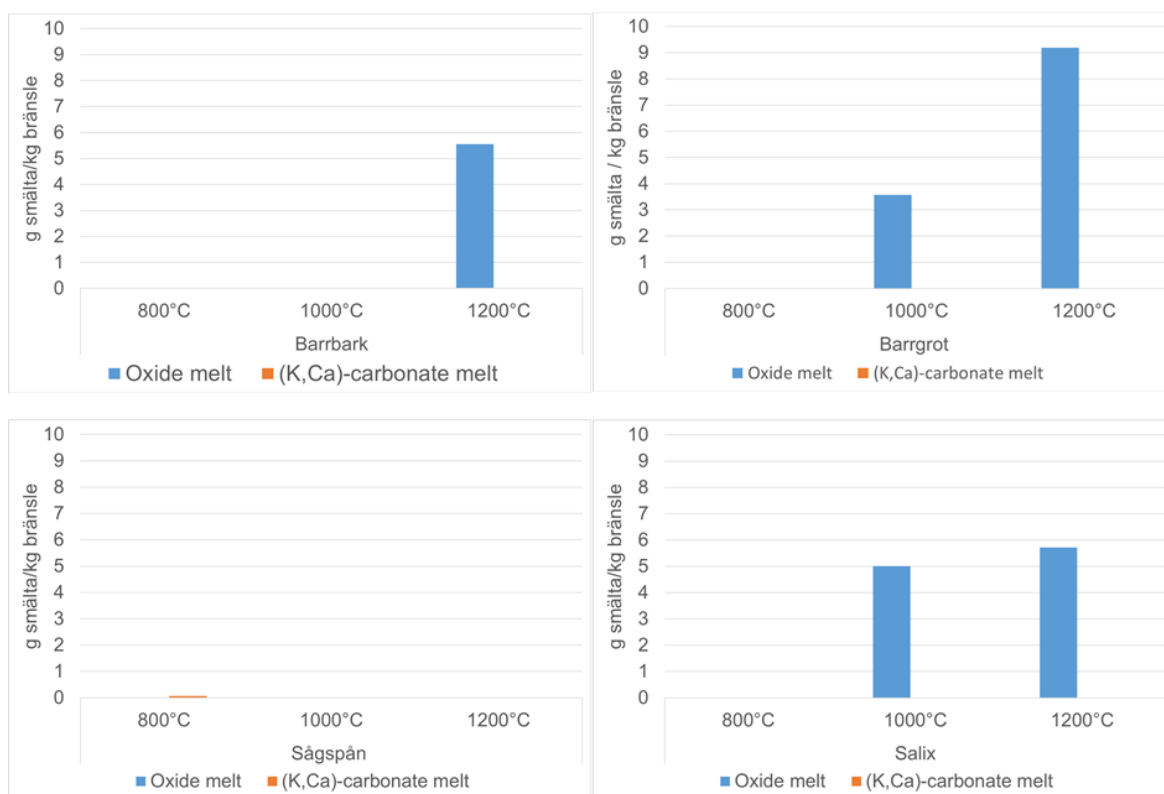
Poppelns förgasnings/förbränningskaraktäristik med avseende på askkemiska egenskaper

Den bildade askan kan vid förgasning och förbränning av biobränslen antingen bestå av en salt-smälta (t. ex en blandning av smält K_2SO_4 , KCl , K_2CO_3 - $CaCO_3$) och/eller en oxidsmälta där olika oxider, fosfater och silikater bildar en smälta. I modellberäkningarna har därför både förekomsten av en salt- och oxidsmälta predikterats vid temperaturer relevanta för fluidbädd-/fastbäddsförgasning (800-1000 °C) och medströmsförgasning (1200 °C). Resultaten visar att för samtliga beräknade poppelprover återfinns en K-Ca rik karbonat(salt)smälta vid 800 °C (se figur 6). Vid de högre temperaturerna är inte denna smälta stabil utan bildar $CaO(s)$ och kaliumrika gasfasföreningar (mestadels $KOH(g)$). Då halten av Si och P i poppelproverna är tämligen blygsamma bildas det utifrån beräkningarna endast en mycket liten andel oxidsmälta (silikatsmälta). Skillnaderna i resultaten mellan de studerade förgasnings- och förbränningsförhållandena är mycket små.

Av figur 7 framgår att för de studerade typiska skogsbränslesortimenten (barrbark och barrgrot) samt salix bildas enligt beräkningarna däremot en ganska ansenlig mängd oxid/silikatsmälta vid de högre temperaturerna samt att ingen saltsmälta bildas vid den lägre temperaturen.

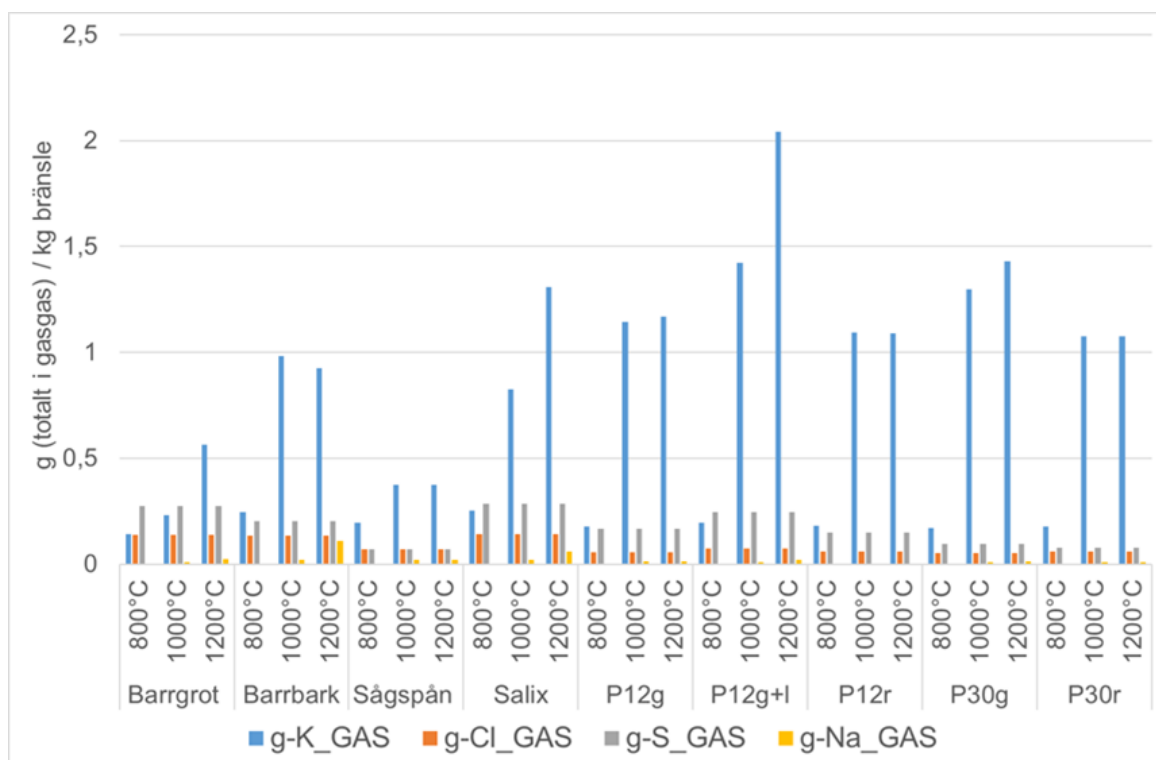


Figur 7. Beräknad mängd bildad oxidsmäta respektive salt(karbonat)smälta (g/kg vått bränsle) vid förgasning vid 800, 1000 resp. 1200 °C för de olika poppelproverna.



Figur 8. Beräknad mängd bildad oxidsmälta respektive salt(karbonat)smälta (g/kg vått bränsle) vid förgasning vid 800, 1000 resp. 1200 °C för de olika referensbränslena.

Av figur 8 framgår att många poppelprov ger upphov till relativt höga halter av total mängd K i gasfas jämfört med andra typiska studerade trädbränslen, t.ex. sågspån och barrgrot. Då den K-Ca rika karbonat-smältan hos poppelfraktionerna inte är stabil över ca 800 °C så har K väldigt lite Si och P som kan hålla den kvar i bädden/grova askfraktionen i form av kondenserade silikat- och fosfatföreningar utan K avgår till gasfasen i form av framför allt KOH (g). Andelen Cl-tot och S-tot är dock relativt låg i gasfasen vid poppelförgasning. Skillnaderna i resultaten mellan de studerade för-gasnings- och förbränningsförhållandena är även för resultaten som visas i figur 8 mycket små.



Figur 9 Beräknad mängd K, Cl, S och Na som återfinns i gasfas d v s i form av totala mängder ej som elementära element, (g/kg vått bränsle) vid förgasning vid 800, 1000 resp. 1200 °C för de olika studerade poppelproverna (P) och referensbränslena.

Resultaten från beräkningarna visar att ingen asksmälta påvisas vid de högre temperaturerna som är relevanta för medströmsförgasning vilket medför att en torr askhantering kan behöva eftersträvas vid 100 % poppelförgasning i medströmsförgasning. Resultaten visar också på förmodade låga slagningsrisker vid poppelförgasning i fast bädd. De relativt höga K-halterna i gasfas vid moderata och höga processtemperaturer jämfört med t.ex. sågspån, barrgrot och salix kan vara positivt då detta kan medge en snabbare och effektivare bränsleomvandling vid t.ex. medströmsförgasning (Bach-Oller, m.fl., 2018). De ökade halterna av KOH i gasfas kan dock ge negativa konsekvenser vad gäller större risk för korrosion av reaktorinfodring och interaktion/reaktion med bäddpartiklar i fluidbäddsförgasning som leder till bäddagglomerering (Öhman, m.fl., 2005) och bäddmaterialdeposition (He, m.fl., 2017).

5.4 SLUTSATSER

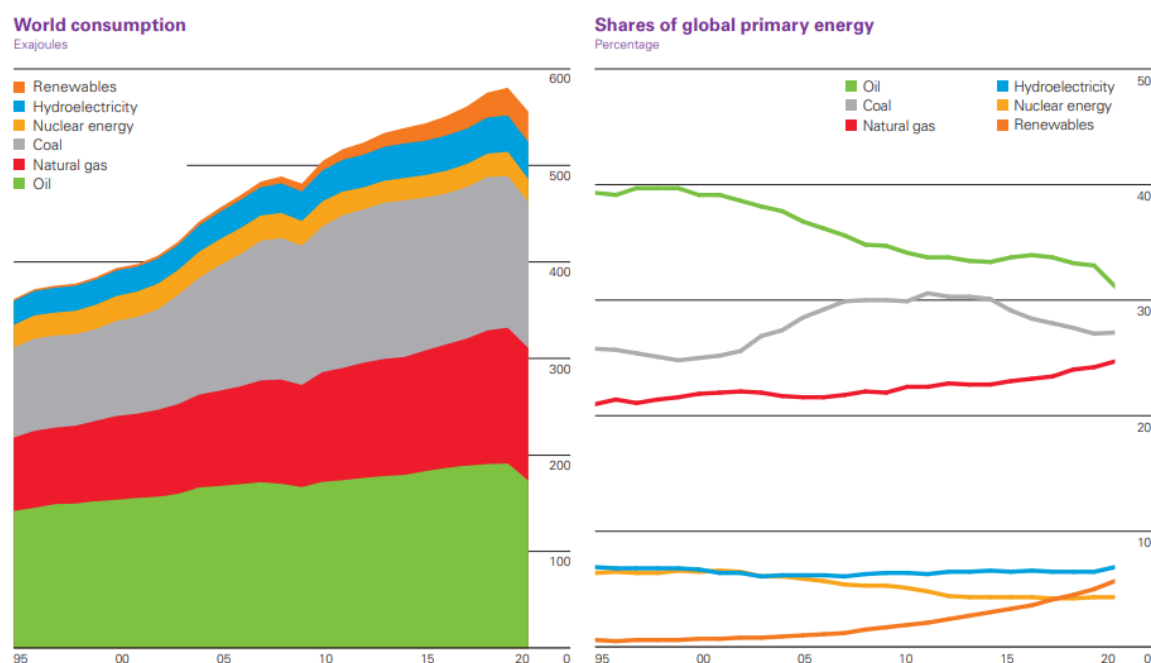
- De studerade poppelfraktionerna/proverna har liknande värmevärde, flykthalt, C-, H-, och O-halt som stamved/sågspån. Därmed har poppel troligen liknande bränsleomvandlingsbeteende för den brännbara substansen som den hos traditionell barrstamved. Detta behöver dock verifieras experimentellt, särskilt vad gäller den vid förgasning bildade koksens reaktivitet.
- Ask-, N-, S- och Cl-halterna hos de studerade poppelfraktionerna/proverna liknar den hos traditionella trädbänslen där stamvedsfractionen har mycket låga halter och grot- och barkfraktionerna har signifikant högre halter.

- Poppelprovernas bränsleaska domineras av Ca, K och till en viss mån P. Si-halterna är mycket låga, betydligt lägre än hos traditionella skogsbränslen och salix.
- Resultaten från modellberäkningarna visar på mycket låg asksmältförekomst vid moderata och höga processtemperaturer och förekomsten av en K-Ca-rik karbonat(salt)smälta vid lägre temperaturer. Beräkningarna visar på, relativt andra mer traditionella skogsbränslen, ganska höga halter av K-föreningar i gasfas vid moderata och höga processtemperaturer.

6 DRIVMEDELSPROCESSER OCH PRODUKTER

6.1 INTRODUKTION

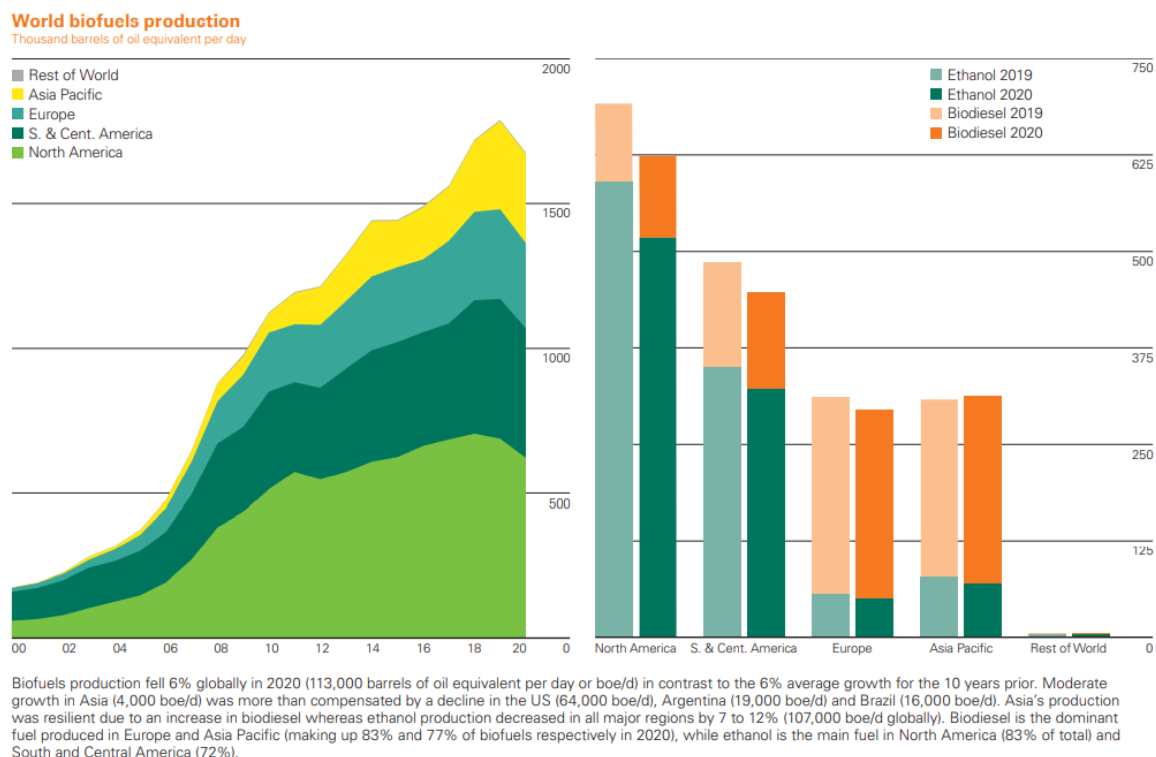
För att sätta perspektiv på utmaningen att gå från fossilbaserad till förnybar drivmedelsproduktion inleds detta avsnitt med en global överblick. BP ger årligen ut en rapport där primärenergianvändningen per energislag sammanställs (BP, Statistical Review, 2021). Rapporten för 2021 med data-sammanställning till och med 2020 visar att andelen biobaserad energianvändning är långsamt ökande men att olja, naturgas och kol fortfarande dominerar stort. Globala energianvändningen minskade under 2020 vilket var första gången sedan 2009. Anledningen var COVID-19. Den enda större nation som ökade energianvändningen under 2020 var Kina. Före 2020 kunde trenden med ökad energianvändning kopplas till ökad befolkning och ökande levnadsstandard. Figur 10 nedan till vänster visar användning av alla energislag som primärenergi.



Figur 10. Diagrammen anger primärenergianvändning. Till vänster förbrukning per energislag i enheten exajoule. Till höger procentuella fördelningen mellan energislagen. Källa: BP, Statistical Review of World Energy 2021, 70th edition.

Andelen förnybar energi har ökat sedan 2000-talet och ökningen har varit accelererande även under 2020, se figur 10. Oljan har under senare år minskat mest men är fortfarande största energikällan. Naturgas har under en längre tid varit ökande. Vattenkraft har varit svagt ökande senaste åren men med en extra ökning 2020. Förnybar energi (Renewables, i figur 10) inkluderar vindkrafts-el, sol-cells-el, biomassa (inklusive biodrivmedel) samt geotermisk värme.

Medan Figur 10 ovan till vänster visar total användning av primärenergi per energislag visar figur 11 nedan globala andelen produktion av biodrivmedel till vänster, och fördelat över var den sker i världen till höger. Produktionen anges som fat oljeequivallenter och i uppdelningen biobensin, 960 000 fat/dag och biodiesel, 716 000 fat/dag.



Figur 11. Globala andelen produktion av biodrivmedel till vänster, och fördelat över var den sker i världen till höger. Källa: BP, Statistical Review of World Energy 2021, 70th edition.

För att försöka göra ovanstående data mer förståelig har data över global drivmedelsanvändning, Tabell 13, hämtats från (World Energy och International Energy Agency (IEA), 2021) med energimängder som förbrukades per transportslag under 2020 i enheten oljeekvivalenter. Därefter jämfördes denna förbrukning med andelen biodrivmedel på global, europeisk samt svensk nivå.

Tabell 13. Energiförbrukning under 2020 av olika transportslag. Källa. IEA, World Energy Outlook 2021.

Transportslag	Miljoner kubikmeter oljeekv./år
Personbilar	1 161
Lastbilar (tung och lätta)	580
Flyg & Marin trafik	522
Summa	2 263

I Tabell 14 redovisas en sammanställning över global biodrivmedelsproduktion 2017–2020. Resultaten kan inte jämföras med Tabell 13 pga biodrivmedel med olika energiinnehåll. Etanol innehåller drygt halva energiinnehållet jämfört med diesel. Eurostat anger att 10,2 % förnybar energi användes för transporter inom EU 2020 (Eurostat, 2021).

Tabell 14. Global biodrivmedelsproduktion 2017-2020. Källa. IEA, Renewables 2021 Analysis and forecasts to 2026.

Global Produktion av biodrivmedel	2017 Miljoner m³/år	2018 Miljoner m³/år	2019 Miljoner m³/år	2020 Miljoner m³/år
BioDiesel - HVO	4,64	4,87	6,03	7,15
BioDiesel - FAME	35,0	41,2	43,4	43,2
Etanol	104,5	110,8	112,7	102,8
Hållbart flygbränsle	0,000	0,009	0,050	0,114
Summa	144,1	156,9	162,2	153,3

Om vi går från global biodrivmedelsproduktion till produktion i Europa ser vi den dokumenterade statistiken i Tabell 15.

Tabell 15. Global biodrivmedelsproduktion 2017-2020. Notera att tabellen anger produktion av biodrivmedel och inte förbrukning. Källa. IEA, Renewables 2021 Analysis and forecasts to 2026.

Europeisk Produktion av Biodrivmedel	2017 Miljoner m³/år	2018 Miljoner m³/år	2019 Miljoner m³/år	2020 Miljoner m³/år
BioDiesel - HVO	2,4	2,6	2,7	3,5
BioDiesel - FAME	13,9	14,9	15,0	13,5
Etanol	5,5	5,7	5,6	5,4
Hållbart flygbränsle	0,000	0,009	0,030	0,049
Summa	21,8	23,2	23,3	22,5

Vid en fortsatt förflyttning till Sverige så finns en lag om reduktion av växthusgasutsläpp från vissa fossila drivmedel, (Lag (2017:1201) om reduktion av växthusgasutsläpp från vissa fossila drivmedel. Lagen infördes den 1 juli 2018 för bensin och diesel, sedan 1 juli 2021 uppdaterad med lag om reduktionsplikt för flygets användning av drivmedel. Lagen skapar marknad för de förnybara drivmedlen genom att tvinga drivmedelsleverantörerna att tillhandahålla en produkt med ökande andel enligt förnybarhetsdirektivet regelverk. Drivmedelsleverantörer måste årligen minska växthusgasutsläppen med en viss procentsats genom att blanda in biodrivmedel. Om de som tillhandahåller drivmedel inte kan uppfylla nivåerna enligt rapporteringen av hållbara mängder så utgår en straffbeskattning. Lagen anger dock inga krav på varifrån råvaror för svensk produktion eller ett färdigt biodrivmedel kommer ifrån. Dock finns en lag, (Lag (2010:598) om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och biobränslen), som måste följas.

Tabell 16. Redovisning av i Sverige rapporterade volymer av förnybara drivmedel som blandats in i diesel, bensin och flygbränsle eller använts som rena biodrivmedel sedan 2017. Uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten. Källa: Energimyndigheten, Drivmedel 2020, ER 2021:29.

Svensk förbrukning av biodrivmedel/år	2017 Miljoner m ³	2018 Miljoner m ³	2019 Miljoner m ³	2020 Miljoner m ³
BioDiesel - Inblandad HVO	0,943	1,010	1,058	1,093
BioDiesel - Ren HVO	0,525	0,458	0,303	0,292
BioDiesel - Inblandad FAME	0,252	0,318	0,344	0,317
BioDiesel - Ren FAME	0,035	0,115	0,162	0,150
Delsumma	1,756	1,901	1,867	1,852
Bensin - Inblandad Biobensin	0,025	0,031	0,004	0,038
Bensin - låginblandad Etanol	0,160	0,159	0,143	0,137
Bensin - Höginblandad Etanol	0,033	0,058	0,043	0,022
Delsumma	0,218	0,248	0,190	0,197
Hållbart Flygbränsle				
Summa	2,0	2,1	2,1	2,0

Tabell 16 visar de volymer av förnybara drivmedel som använts i Sverige via inblandning i diesel, bensin och flygbränsle eller som rent biodrivmedel sedan 2017. Inblandning av förnybara drivmedel har dock skett sedan många år tidigare. Inblandning av hållbart flygbränsle har också genomförts före införandet av reduktionsplikten, 2021, men på så pass låga nivåer att de inte finns redovisade i statistiken.

Reduktionsplikterna för drivmedlen uppfylls idag genom inblandning av förnybara drivmedel i diesel, bensin och flygbränsle enligt:

Diesel, med inblandning av:

- HVO. Högre inblandning i fossil diesel eller säljs även som HVO 100. I huvudsak framställd på vegetabiliska oljor, slakteriavfall, fetter. Talloljediesel från massaindustrin är en vätebehandlad vegetabilisk olja, HVO.
- FAME. Lägre inblandning i fossil diesel, maxkoncentrationen är 7 %. Har i princip enbart producerats från raps i Sverige.

Bensin, med inblandning av:

- 95-oktan med 5 % etanol. Ersätts med E10 från första augusti 2021.
- E10 med max 10 % etanol
- 98-oktan med max 5 % etanol. E5.
- Biobensin. Blandning av 68 % biobensin plus 10 % etanol blandad med fossil bensin.

För flygbränsle är inblandning enligt nedanstående standard. Det hållbara drivmedlet skall vara producerat enligt en certifierad tillverkningsprocess. Andelen förnybart som får blandas med konventionellt fossilbaserat bränsle varierar beroende på processväg. I nuläget får andelen förnybart utgöra maximalt 50% av drivmedlet som tankas till flygplanet:

- Standard för hållbara flygbränslen, ASTM D7566 uppfyllande ASTM D1655.

Förutom produktionsanläggningar för etanol är det främst anläggningar för HVO-produktion (från vegetabiliska oljor och slaktrester) som hittills byggts och som förser behovet för reduktionsplikten. De biodrivmedel som används idag importeras i huvudsak till Sverige som råvara eller färdigt biodrivmedel. Forskning och utveckling pågår där man med processvägar via befintliga och nya råvaror letar möjligheter till ökad volymspotential. Många teknikspår finns men gemensamt för alla processvägar är att ej fossilbaserade drivmedel i dagsläget blir dyrare än dess fossila motsvarighet. Nya typer av förnybara drivmedel har under lång tid undersökts och innebär krav på ny teknik med nya eller delvis nya produktionsanläggningar. Ny teknik kan vid produktion av så kallade drop-in bränslen fungera i befintliga logistiksystem samt motorteknik och drivlina. Nya typer av drivmedel kräver olika omfattning av ändring.

I Energimyndighetens rapport "Kontrollstation 2019 för reduktionsplikten Reduktionsplikten utveckling 2021–2030. ER 2019:27" anges några scenarier.

- Reduktionspliktsscenario där biodrivmedelsbehovet är ca 50 TWh. Ca 2,5 gånger volymerna 2020.
- En snabbare elektrifiering av fordonsflottan där behovet sjunker under reduktionsplikts scenariot till ett behov av ca 42 TWh.
- En ytterligare snabbare elektrifieringstakt med ett behov av ca 35 TWh.

Denna kontrollstation innehöll dock inget scenario där även flygets behov räknades med, eller ett framtida scenario för sjöfarten. Den 16 december 2021 gav Regeringen Energimyndigheten ett nytt uppdrag att ta reda på om andelen hållbara biodrivmedel i bensin, diesel och flygfoto-gen behöver ändras för att nå Sveriges klimatmål. Uppdraget är att genomföra en ny kontrollstation med redovisning 15:e december 2022.

Ett stort antal rapporter har tidigare belyst drivmedelsproduktion via ett antal råvaror, processer och slutliga förnybara drivmedel. Nedan exempel på ett antal tidigare rapporter som tar upp produktion och användning av förnybara drivmedel.

- Börjesson, P., Lundgren, J. Ahlgren, S., Nyström, I., "Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel" f3 Rapport nr 3, 2016.
- Furusjö, E., Lundgren, J., "Utvärdering av produktionskostnader för biodrivmedel med hänsyn till reduktionsplikten." f3 Rapport nr 17, 2017.
- Hansson, J., Hellsmark, H., Söderholm, P., Lönnqvist, T. "Styrmedel för framtidens bioraffinaderier: en innovationspolitisk analys av styrmedelsmixen i utvalda länder" f3 Rapport nr 10 2018
- Lönnqvist, T., Hansson, J., Klintbom, P., Furusjö, E., & Holmgren, K. "Drop-in the tank or a new tank?" f3 Rapport nr 10, 2021 Publ. No FDOS 17:2021. (2021)
- Furusjö, E., Mossberg, J., "Förnybar Bensin – En kunskapssammanställning" Rapport f3 nr 01, 2021.
- Irena and Methanol Institute, Innovation Outlook: Renewable Methanol, 2021.

Att vid en specifik plats hållbart över tid kunna allokera en tillräckligt stor mängd biomassa till ett pris som är tillräckligt attraktivt för att bidra till lönsamhet för en produktionsanläggning ska kunna uppnås är en stor utmaning. Även om råvaran på plats i skogen skulle ha ett lågt pris medför den

låga energitätheten höga logistikkostnader för större uppsamlingsområden. Lönsamheten ökar generellt med storleken på produktionsanläggningen och skalekonomin är väl utvecklad inom den fossilbaserade drivmedelsproduktionen, men att bygga lika stora bioraffinaderier är betydligt svårare eller omöjligt. Detta projekt har som tidigare beskrivits fokuserat på just denna viktiga fråga. Biobaserade anläggningar är därför hitintills betydligt mindre än dess fossilbaserade motsvarighet.

Tabell 17. Exempel på Fossila och biobaserade produktionsanläggningar och deras skillnader i produktionskapacitet.

Projekt	Produkt/Produkter	Produktion	CAPEX (MUSD)	Se referens (lista nedan)
Fossilbaserad				
PREEM, Lysekil, (SWE)	Bensin, diesel, LPG, eldningsolja	Raff. Kapacitet 11,4 Mt/år		1
Natgasoline, Texas	Metanol	1,6 Mt/år	-	2
Sasol, Secunda	FT. Kemikalier & Drivmedel	7,5–7,7 Mt/år	-	3
Sasol, Natref, (Oil raff.)	Bensin, Diesel, Jet Fuel, Black prod.	6,3 Mm3/år	-	3
Bio-baserad				
Sunpine/PREEM, (SWE)	HVO	150 000 m3/år	-	4
Södra, (SWE)	Metanol	5 000 t/år	11	5
Fulcrum	FT-produkter	41 000 m3/år		6
St1, (SWE)	HVO-Diesel, Jet, Naphta	200 000 t/år	230	7
Red Rock Biofuels, (USA)	FT - Diesel, Jet	58 000 m3	355	8
LowLand Methanol, (NL)	Metanol	120 000 t/år	130	9
Enerkem, (CAN)	Etanol	30 000 t/år	87	9
Chemrec, (SWE)	Metanol	147 000 t/år	390	9
BayouFuels, (USA)	FT - Diesel, Jet	131 000 m3	N.A.	10
1. https://www.preem.se/om-preem/om-oss/vad-vi-gor/raff/preemraff-lysekil/ 2. https://www.eia.gov/todayinenergy/detail.php?id=38412# 3. SASOL, Production and sales metrics for the year ended 30 June 2021 4. https://www.sunpine.se/ 5. https://www.sodra.com/sv/se/bioprodukter/biometanol/ 6. https://fulcrum-bioenergy.com/ 7. https://www.st1.com/st1-constructs-a-biorefinery-to-produce-renewable-diesel-and-jet-fuel 8. https://www.redrockbio.com/ 9. IRENA AND METHANOL INSTITUTE (2021), Innovation Outlook : Renewable Methanol, 10. https://www.bayoufuels.com/				

6.2 METOD

I projektet har begränsning gjorts till enbart poppel som bioråvara för drivmedelsproduktion. Biodrivmedel som kan ingå i beslutad svensk reduktionsplikt, väg och flyg, som drop-in bränsle för inblandning med konventionella fossila drivmedel. Det är givetvis möjligt att tänka sig en kombination av bioråvara passande en teknik där poppel blandas med t.ex. skogsflis från grot samt med bark eller returträ för utökad råvarutillgång. För produktion av biodrivmedelsprodukter passande för inblandning enligt reduktionsplikten har även begränsning gjorts till termokemisk omvandling och specifikt förgasning. De biodrivmedel som valts att studera närmare är därför biodiesel, biobensin. Sett till en energieffektiv omvandling av biomassa via förgasning så är metanol mycket intressant.

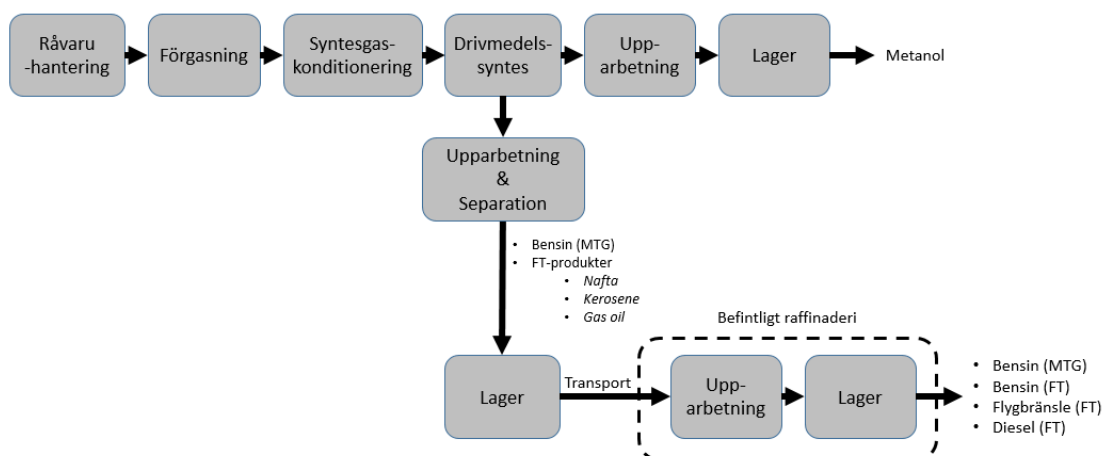
Metanol anses ha en stor potential med ett uttalat intresse främst från sjöfarten. Men metanol tillåts i begränsad mängd (3 % i nuläget) för inblandning i bensin. Metanol har redan använts inom sjöfarten av bl.a. Stena och efterfrågas nu av rederiet MAERSK i volymerna 290 – 370 kt per år. Första fartyget beräknas levererat i mitten av 2023. (Maersk. 2021, Logisticsinsider. 2021).

Marknaden för producerade biodrivmedel är givetvis internationell. Kommersiella kostnadsdata för anläggningar och anläggningsdelar är vanligtvis klassad som känslig och sekretessbelagd information i kombination med teknisk lösning. Detta är givetvis naturligt ur ett konkurrens- och marknads-perspektiv. Rapporten (Hannula och Kurkela, 2013) har använts som utgångspunkt för information om applicerbara tekniker med relaterade kostnadsdata. Rapportens redovisning av skogsflissam-mansättning från, (Wilén m.fl., 1996) har sedan jämförts med data från analysen av poppel i kapitel 5 (Råvaruanalys), se tabell 18.

Tabell 18. Poppeldata från kapitel 5 jämförd med data från grot-flis från VTT, redovisat i Wilén m.fl., 1996 och beräkningar i kapitel 6 och 7. Poppel 12-årig, Rundvedsfraktion (stam+bark) = P12r, Poppel 30-årig, Rundvedsfraktion (stam+bark).

	Rundvedsfraktion (stam+bark) P12r	P30r	Barr grot ¹	Skogsflis ²
Askhalt, (% torrt)	1,5	2,3	2,65	1,33
Flyktiga, ämnen (% torrt askfritt)	84,9	83,4	75,6	79,3
Heff (MJ/kg, torrt askfritt)	18,1	18,7	19,5	19,37
C (% torrt askfritt)	48,5	50,2	51,1	51,3
H (% torrt askfritt)	6,6	6,4	6,1	6,1
O (% torrt askfritt)	44,5	43,4	40,1	40,85
N (% torrt askfritt)	0,18	0,15	0,40	0,4
S (% torrt askfritt)	0,02	0,011	0,04	0,02
Cl (% torrt askfritt)	0,01	0,008	0,02	0,008
Na (ppm – vikts%, T.S.)	Se kap 5	Se kap 5	Se kap 5	76
K (ppm – vikts%, T.S.)	Se kap 5	Se kap 5	Se kap 5	1377
¹ Medianvärden av mångtalet bränsleprovsanalyser hämtade från SVF Bränslehandboken.				
² Wilén, C., Moilanen, A., Kurkela, E. 1996. Biomass feedstock analyses, VTT Publications 282, ISBN 951-38-4940-6				

Data från VTT-rapporterna (Wilén m.fl., 1996; Hannula och Kurkela, 2013) har varit grund för beräkningar med komplettering av data samt skalning för att beräkna anläggningsstorlekar utifrån projektets bedömda råvarupotential från poppel vid olika geografiska platser i Sverige. Arbetet har begränsats till att räkna om basfallet i referensen ”CASE 1” vilket ansetts som relevant med mogen teknik möjlig att bygga kommersiellt. Figur 12 visar huvudprocesserna för produktion av de valda biodrivmedlen att räkna på. Hannula och Kurkela, 2013, beskriver tydligt de olika delprocesserna och läsaren hänvisas därför till denna källa för en djupare förståelse av koncepten och de förklaras enbart enklare nedan.



Figur 12. Beskrivning av huvudprocessblocken i en förgasningsbaserad biodrivmedelsanläggning.

Råvaruhanteringen består i huvudsak av flisning och torkning av biomassan. Biomassan kan tillföras till platsen för anläggningen på olika sätt. Flisad råvara (rå-flis) som lagras och torkas på väg in i processen eller som ej flisad råvara som lagras och flisas vid anläggningen. Valet av förgasningsteknik ställer krav på råvarans styckstorlek, (filstorlek, pulver) och optimal fukthalt. Det är viktigt att inte kontaminera råvaran med jord eller sand som sedan följer med råvaran in i processen och skapar problem med askan.

Förgasningstekniken är i detta fall en cirkulerande fluidbädd (CFB). Tekniken är syrgasblåst tillsammans med ånga med ett stort årligt behov av syrgas. En luftseparationsanläggning (ASU) har därför valts för byggnation på plats för bättre ekonomi. Vidare är anläggningen designad för att vara självförsörjande på el under drift med ett mindre eller större nettoöverskott. Andra förgasningstekniker (bubblande fluid bädd (BFB), Indirekta förgasning, Medströmsförgasare) är givetvis intressanta att utreda vilka även kan vara lönsammare men har så inte gjorts i detta arbete pga ej funna referensdata på utrustningskostnader. Svartlutsförgasning har ett speciellt fall då svartlutsenergi från massaframställningen förgasas i en Chemrec förgasare och svartlutsenergin som nyttjas till förgasning kan vid behov, vilket är troligt, kompenseras genom att tillföra biomassa till en befintlig, modifierad eller ny kraftvärmepanna.

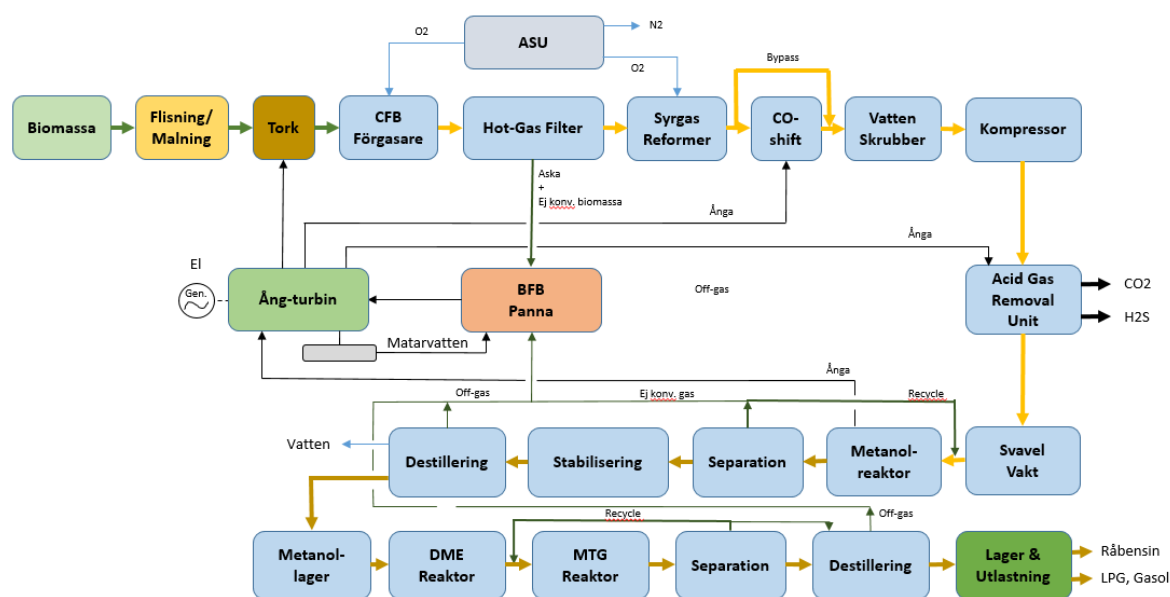
Fischer Tropsch (FT)

Via FT-processen kan en mängd slutprodukter erhållas. I detta fall har fokus varit på drivmedel med Bio-bensin, bio-diesel och bio-jet (hållbart flygbränsle) som slutprodukter. FT ger även gasformiga kolväten och BioLPG (biogasol) kan erhållas vilken är en eftertraktad produkt. Vid mindre bioraffinaderier blir det dock en rätt liten mängd och den extra processutrustningen relativt värdet får bedömas anläggningsspecifikt. FT-produkter kräver mer avancerad upparbetning och slutlig upparbetning kan troligen med fördel genomföras genom att transportera halvfabrikat till ett befintligt raffinaderi där färdig produkt tillverkas. Där kan blandning ske med fossil produkt enligt reduktionsplikt eller levereras ut som ren biodrivmedelsprodukt. FT-produkter kan från en anläggning levereras i olika grad av halvfabrikat. En blandning av vätskeformiga kolväten, eller efter en lättare vätgasbehandling och separation (som i detta fall valt) till tre fraktioner. Nafta (råbensin), Fotogen (Eng. Kerosene, flygbränsle), Gasolja (brännolja, rådiesel).

I denna valda referenskonfiguration produceras mer el än vad som nyttjas i produktionen och överskottet kan säljas. El-produktionen skulle kunna dras ned för att istället sälja fjärr-värme men detta

Methanol to gasoline (MTG)

Denna process är en påbyggnadsprocess på metanolkonceptet. MTG har storskaligt byggts för produktion av naturgasbaserad bensin i Nya Zeeland 1985-1999 med en design av årlig produktion om 570 000 ton högoktanig bensin, (Maiden., 1988; Helton and Hindman., 2014). En MTG-anläggning har efter det byggts i en förbättrad process i Kina 2009. En annan *metanol till bensin*-process är TIGAS, Topsoe Improved Gasoline Synthesis. En naturgasbaserad TIGAS-anläggning drivs sedan 2019 i Turkmenistan och en anläggning planeras i USA (Furusjö och Mossberg., 2021). Metanol till bensinsteget skulle kunna byggas fristående och bio-metanol skulle kunna levereras till anläggningen från ett flertal metanolproduktionsanläggningar. På så sätt skulle skalekonomin eventuellt kunna bli bättre.



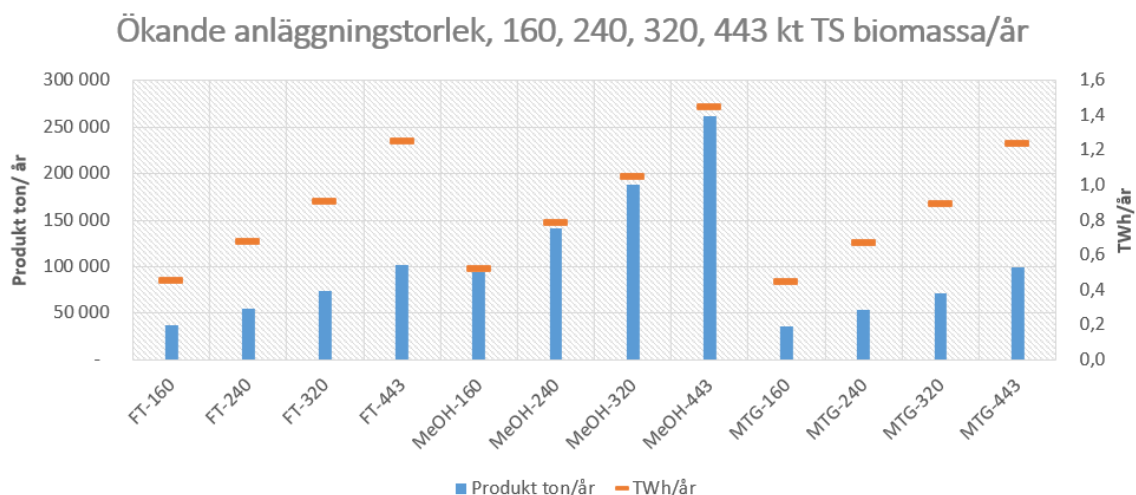
Figur 15. Koncept för skogsflis till Metanol vidare till bensin och LPG. Processen enligt (Hannula och Kurkela 2013). För en mer detaljerad processförklaring hänvisas läsaren till källan. Gröna pilar fast form. Gula gasform och bruna flytande.

Som biprodukt erhålls Bio-LPG (bio-gasol) vilket är en alltmer eftertraktad produkt. Off-gaser från bensin-loopen gör att nettoelproduktionen är högre än för metanol konceptet. Detta på bekostnad av en lägre energieffektivitet till huvudprodukten.

6.3 RESULTAT OCH DISKUSSION

VTT-rapporten (Hannula och Kurkela, 2013) beräknar fem olika processkoncept vid den angivna skalan. I detta projekt har "Case 1" valts för beräkningar av produktionsvolym och i en senare del i rapporten kostnader vid olika anläggningsstorlekar och känslighet för råvarupris m.m. Konceptet har under produktion inget nettobehov utav elektricitet utan beroende på storlek och produktionsprocess i stället en nettoproduktion av el som kan säljas. Detta kan möjligen ses som extra intressant i det läge som Sverige och EU befinner sig i (2021) med en stor efterfrågan på ny tillkommande förnybar elproduktion. Utöver anläggningsstorleken i (Hannula och Kurkela, 2013), vilken är en rätt stor enhet, 443 000 ton TS biomassa/år, har tre mindre anläggningsstorlekar 160 000, 240 000 och 320 000 ton TS/år har även beräknats för produktion av FT-produkter, Metanol, MTG-Bensin. Sett till regioner i Sverige med potentiell mark för poppelodling är det bara i Västra

Götalands län som inom ett enskilt län med rimliga avstånd skulle kunna producera råvaruförsörjning till den största anläggningsstorleken som beräknats. Enligt resultat i detta projekt har Västra Götalands län potential till en poppelproduktion av 510 467 ton TS poppel/år. Utöver detta finns några potentiella platser för anläggningsstorleken med ett råvarubehov av 320 000 ton TS poppel/år. För ett behov av 240 000 samt 160 000 ton TS poppel /år bedöms flera intressanta lokaliseringar finnas.

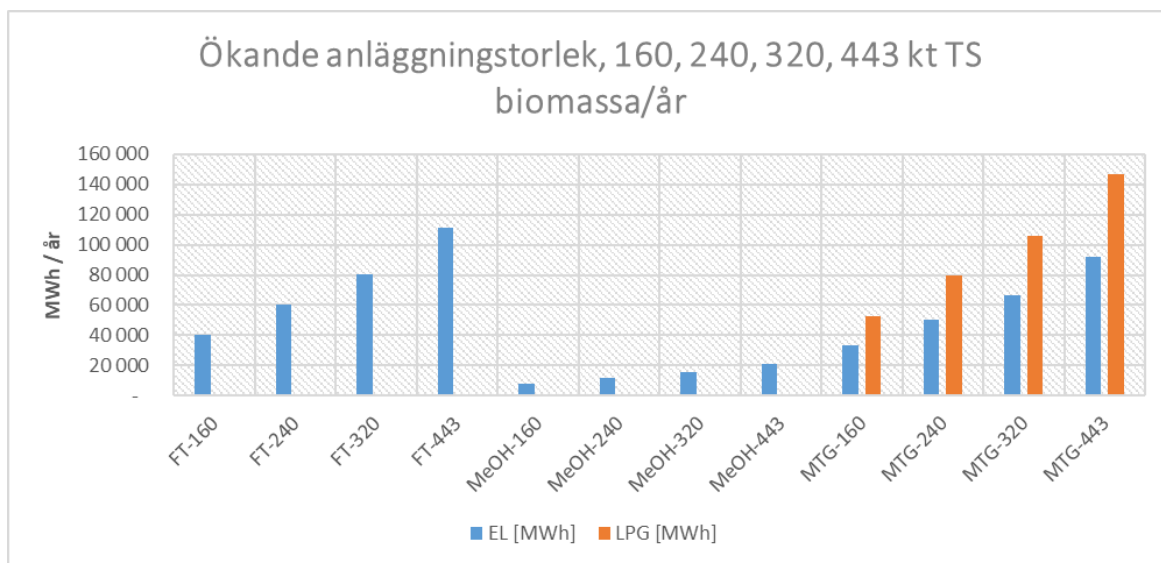


Figur 16. Diagrammet visar på värdeaxeln till vänster beräknad mängd produkt för fyra stycken anläggningsstorlekar. Från 160 000 ton TS/år till 443 000 ton TS/år biomassa. På värdeaxeln till höger årlig producerad drivmedelsenergi i TWh.

Vid beräkning av produktionsmängden biodrivmedel har utbyten angivna i tabell 19 använts. Processutrustning och anläggningsdata har skalats linjärt mellan produktionskapacitet och tillförd mängd biomassa.

Tabell 19. Utbyten från biomassa till produkter enligt (Hannula och Kurkela 2013).

Processeffektivitet	Biomassa/ Driv. M. [kg TS/kg prod.]	Biomassa/ Driv. M. [MW/MW]	Biomassa/ (Driv. M.+Net. El) [MW/MW]	Biomassa/ (Driv. M.+LPG) [MW/MW]	Tot. Prod [MW/MW]
1 Biomassa till FT-produkter	0,23	53%	57%	N:A.	57%
2 Biomassa till metanol	0,59	61%	62%	N:A.	62%
3 Biomassa till råbensin	0,22	52%	56%	58%	62%



Figur 17. Diagrammet visar årlig produktion av el och LPG för de olika processerna och de olika anläggningsstolekarna.

Vätgassamhället som diskuteras och börjar byggas med dess möjliga tillämpningar av Power-to-Liquids (PTL) samt utredningarna kring Bio-CCS gör att biogen koldioxid är intressant. Detta speciellt vid denna typ av bioraffinaderi där förgasning innebär att en stor del av kolet i biomassan som tillförs som råvara normalt inte hamnar i slutprodukten biodrivmedel, utan förloras som koldioxid. Vid förgasning konverteras biomassan först till en rå syntesgas, väte, kolmonoxid och koldioxid mindre mängder andra komponenter. Det är i huvudsak vätgasen och kolmonoxiden som bildar slutprodukterna genom syntes av dessa. Ett processteg som därför krävs, är ett steg där koldioxid avskiljs. Ett alternativ för att i processen omvandla en del av koldioxiden till kolmonoxid är att till processen tillföra vätgas. Om koldioxiden i stället avskiljs kan den erhållas som en koncentrerad ström och koldioxiden kan då användas för att med förnybar vätgas omvandlas till så kallade elektrobränslen, PTL eller obestämt PTX. Ett annat alternativ är att nyttja koldioxiden för Bio-CCS vilket troligen ger en ökad lönsamhet (om ett system finns där anläggningsägaren får betalt för koldioxidinfångning och -lagring) till relativt låg extra investering jämfört med Bio-CCS från andra typer av industri där en koldioxidavskiljningsanläggning inte redan finns. En riktad tillägginvestering ökar kapitalkostnaderna och minskar troligen vinstmarginalen för en CO₂-affärsmodell.

6.4 SLUTSATSER

- Det finns flera lämpliga teknikkoncept för att från poppel som biomassa framställa biodrivmedel.
- Förgasning bedöms som ett marknadsmoget processkoncept och flera långt gående initiativ finns. Processen bedöms från litteraturen lämpa sig väl för att framställa biodrivmedel till reduktionsplikt för bensen, diesel och flygbränsle. Det finns även stor potential att producera biodrivmedel för sjöfart i form av metanol som redan har en efterfrågan för detta. Metanol används redan i stor mängd inom kemisk industri och biometanol med rätt prisbild skulle med säkerhet vara eftertraktat.

- Projektet har visat att det isolerat till behovet av råvara finns ett flertal platser där anläggningar av en storlek av 160 000, 240 000 ton TS poppel/år kan placeras. Troligtvis mer än en plats med en anläggningsstorlek om 320 000 respektive 443 000 ton TS/år.
- Sett till biodrivmedelsbehovet för att uppfylla reduktionsplikten med ett behov 2030 enligt de tre scenarierna om 50, 42, 35 TWh/år biodrivmedel utan att räkna med flyget är utmaningen stor.
- Den i projektet identifierade potentiella poppelproduktionen är ca 3,2 miljoner ton TS poppelbiomassa/år.
- En stor anläggning om 443 000 ton TS poppel /år skulle enligt beräkningarna exklusive energi för upparbetning till slutliga produkter kunna bidra med: (teoretiskt om all poppel konverteras inom parantes)
 - Om FT (Bensin, Jet, Marin diesel), ~1,3 TWh, (9,4 TWh)
 - Om Metanol, ~1,5 TWh, (10,8 TWh)
 - Om Gasoline (MTG), ~ 1,2 TWh, (8,7 TWh)

Det hade varit intressant att genomföra livscykelanalysberäkningar men det har inte rymts inom detta projekt. LCA-värdet kan bli än mer relevant och styrande framöver då REDIII senaste förslag är att målet inom transportsektorn i stället för förnybar procentandel av energi skall bytas ut mot växthusgasreduktionsmål. Det finns i litteraturen beräknade LCA-värden för liknande processer som analyserats i detta projekt men varje LCA-analys är specifik för en kedja till en specifik produkt. Kolförlusterna via koldioxid under processandet av biomassa till produkter är ca 50 %. Med ett vätgastillskott via elektrolys av vatten skulle en majoritet av detta kol kunna omvandlas till produkt och mer än fördubbla produktmängderna från samma mängd biomassa. Detta skulle kräva stora mängder el men en beräkning vore intressant. Tyvärr ryms inte det inom detta projekt.

7 LOKALISERING AV DRIVMEDELSINFRASTRUKTUR

7.1 INTRODUKTION

Vikten av närheten till en stor och kostnadsattraktiv råvaruvolym har redan belysts under föregående kapitel 6. Placering av ett bioraffinaderi är beroende av ett antal faktorer: energitillgång, plats i kombination med logistik för import av redan nämnd råvara, export av producerade produkter; lämpad och marknadsmogen teknik för ändamålet, marknadsförutsättningarna för aktuell produkt samt inte minst tillgång till marknad utifrån plats och produkt. I de för produkterna valda scenarierna anses närhet till en hamn alltid vara fördelaktigt. Järnvägsförbindelse är också mycket attraktivt. När det gäller inleverans av biomassa kan detta givetvis ske på flera sätt men i det aktuella fallet med poppelodlingar i Sverige som scenario antas en stor mängd komma att fraktas till produktionsanläggningen med lastbil. En hög vägstandard med bra bärighet är därför viktigt och att anläggningens placering ligger nära större huvudvägar. Järnväg och om möjligt fartyg kan vara aktuellt vid behov av ytterligare biomassa än vad som kan inhämtas inom ca 10 mils radie men främst från mer avlägsna platser. Sett till ett i flertalet rapporter troligt ekonomiskt uppsamlingsområde om ca 10 mil i radie ger en placering vid en kust fördelen av en hamn men beroende på kustens utseende ett tapp av ekonomiskt attraktivt uppsamlingsområde på ca 50 %.

I de valda scenarierna med produktion av både FT-produkter och råbensin, som behöver vidare upparbetning till färdiga produkter vid andra anläggningar, blir betydelsen av logistikkostnader till en sådan plats av ännu större vikt. Om anläggningarna ligger i närhet till hamnar finns dock goda förutsättningar för att hålla ned kostnader jämfört med andra alternativ.

Bio-CCS (se kapitel 6) skulle via ett införande vara ett alternativ till att omvandla CO₂ till en betald produkt i stället för en förlust av biogent kolflöde. Intressanta geografiska platser för koldioxidinfångning i ett sådant system är enligt Energimyndighetens nära hamnar efter kusten samt runt Väner (Energimyndigheten, ER 2021:31).

I detta avsnitt har projektet utifrån tidigare delar genomfört beräkningar för produktionspris av produkterna i de teknikkoncept som studerats. Beräkningarna har jämförts med litteraturdata samt industriella referensstorlekar med biobaserade anläggningar som nu byggs eller projekteras. Nedströms biomassaförgasaren när en ren syntesgas har erhållits är teknikjämförelser relevanta oavsett råvarans ursprung, biomassa, avfall, fossilt.

7.2 METOD

En teknoekonomisk modell har satts upp via påbyggnad av den tekniska modellen i kapitel 6. En känslighetsanalys har gjorts på ett antal parametrar:

- Pris på bioråvaran
- Anläggningsstorlek, mängd biomassa
- Inverkan på lönsamheten via ett investeringsbidrag
- Inverkan av Bio-CCS med lönsamhet på infångad och lagrad koldioxid

Grundläggande finansiella data för modellen finns angivna i

Tabell 20tabell 20 och tabell 21.

Tabell 20. Kostnader för råvaror och produkter nyttjade i beräkningarna. En känslighetsanalys har gjorts för priset på biomassa men ej för el och LPG.

Kostnader	
Biomassa, bas fall	200 SEK/MWh
El	500 SEK/MWh
LPG	400 SEK/MWh

Tabell 21. Investeringsfaktorer nyttjade i teknoekonomiska beräkningar. Merparten av faktorerna hämtade från Hannula och Kurkela (2013). Avvikande faktorer och tillägg kommer från samtal med näringslivet under projektets gång.

Investeringsfaktorer	
Installationskostnader	30 %
Indirekta kostnader	22 %
Oförutsedda kostnader för standardutrustning	20 %
Oförutsedda kostnader för nyare teknik	30 %
Räntekostnader på lånat kapital	5 %
Avkastningskrav på investeringen	10 %
Underhållskostnader räknat som del av CAPEX	3 %
Årligt antal drifttimmar efter uppnådd stabil drift	8 023 h
Amorteringstid satt = Avskrivningstid	15 år
Bolagsskatt	20,6 %
Fördelning eget kapital/lån	30/70
Investeringsstöd krediterat låneandel	0, 250, 500 MSEK

7.3 RESULTAT OCH DISKUSSION

Resultaten i Tabell 4 kapitel 3 visar att de flesta län i södra och mellersta Sverige kan förse en biodrivmedelsanläggning om 160 000 ton TS per år. Flera av länen har dock en betydligt högre råvarupotential vilket gör att ytterligare lokaliseringar kan läggas vid gynnsamma platser. De redovisade resultaten har syftat till att just undersöka vilka uppskalingsfördelar som skulle kunna erhållas, t.ex. där de angränsande länen Halland, Skåne Blekinge och Kronoberg tillsammans skulle få en möjlig produktion på 480 000 ton TS per år. På enskild länsnivå är Västra Götaland den region som visar störst potential för produktion av biomassa både från odlingar på jordbruksmark och skogsmark. Med en lokalisering i Vänersborg finns arealer som via relativt begränsade lastbilstransporter kan försörja en industri med ca 350 000 ton TS biomassa/år. I detta exempel antas endast sex kommuner i regionens nordöstra samt sydöstra delar ligga utanför upptagningsområdet. Enbart från planteringar på 25 % ej brukad åker kan ca 149 000 ton TS per år produceras. Dessutom tillkommer odlingar på i första hand beskogad åkermark. Utöver detta kan dessutom sjötransport över Vänern energieffektivt transportera biomassa från exempelvis Värmland.

En ytterligare fördel med lokalisering i västra Sverige är att om ett bioraffinaderi tar fram en produkt som behöver uppgraderas på ett oljeraffinaderi finns flera befintliga raffinaderier i västra Sverige med bra transportmöjligheter till och från Vänersborgsområdet.

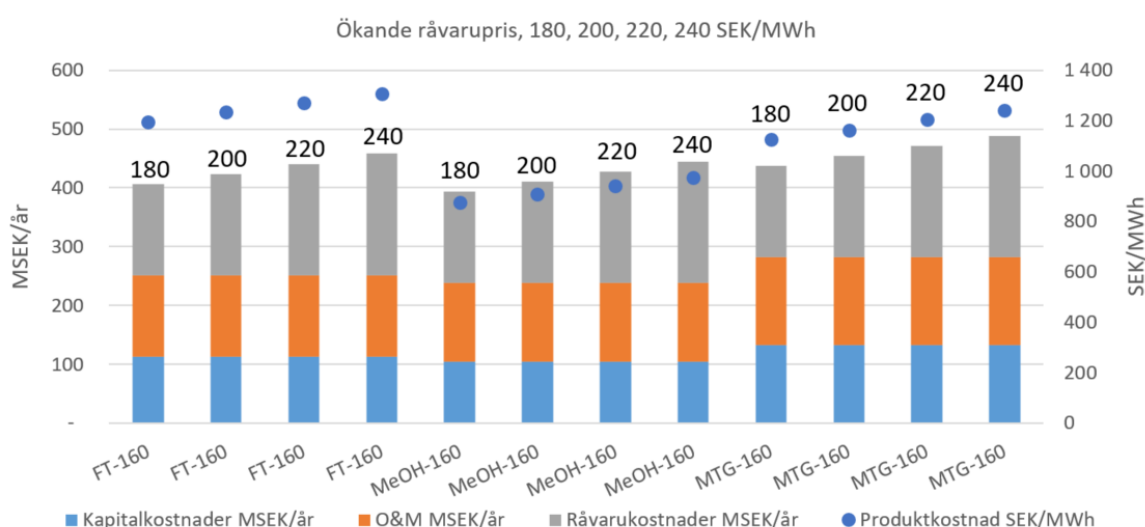
Ett annat intressant område är östra Sverige och regionerna Södermanland, Östergötland, samt norra delarna av Jönköping och Kalmar län samt sydöstra delen av Örebro län som får ihop lika stor mängd TS från ej brukad åker som Västra Götaland.

Från biomassa finns flertalet konverteringsvägar till biodrivmedel. Pyrolys av biomassa till bioolja, ligninolja och andra vegetabiliska oljor som med vätgasbehandling kan raffineras för användning i bland annat dieselmotorer. Ett drivmedel med högst energiverkningsgrad från biomassa till drivmedel via termisk förgasning är metanol som kan användas direkt i dieselmotorer utan avancerad uppbyggnad. Inom sjöfarten finns idag flera fartyg med motorer med metanol som drivmedel. För mindre motorer har företaget ScandiNAOS utvecklat MD-motorn (Stenhede 2021, ScandiNAOS 2021) och utfört anpassning av bl.a. en Scania 700HP-motor för att drivas med metanol med en slagvolym på 13 liter och en effekt på 350 kW. ScandiNAOS har arbetat med motorer i effektspannet 150-450 kW för generator- och framdrivningsapplikation. ScandiNAOS MD97-motorn är optimerad för att köras med MD97-bränsle, vilket indikerar att 97 % metanol blandas med 3 % tändförstärkare. ScandiNAOS MD-motorn är bl.a. installerad och testad på en lotsbåt och numera implementerad som en praktisk lösning (Sjöfartsverket 2021). Metanol som drivmedel kan ge bruttoverkningsgrader på upp till 54 % beroende av motorkoncept (Björnestrand 2017).



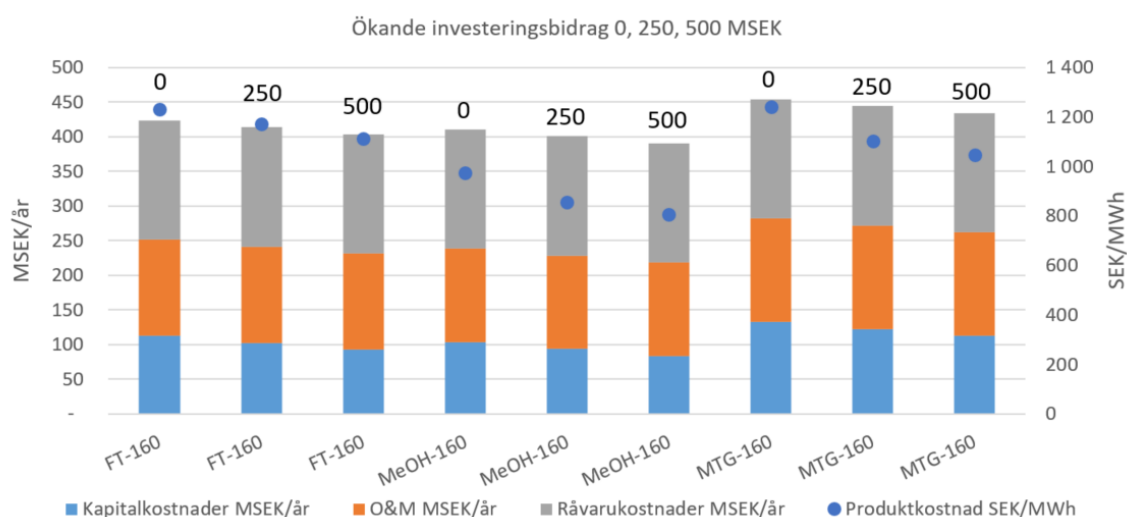
Figur 18. MD97 motor. Metanol med 3 % tillsats för smörjning och tändningsförbättring ger bränslet dieselliknande egenskaper, bildkälla: <https://www.scandinaos.com/>.

En känslighetsanalys har gjorts med i projektet framtagna teknoekonomisk beräkningsmodell baserad på data från (Hannula och Kurkela, 2013). Vissa justeringar och tillägg har gjorts med komplementär data med avsikt att förbättra beräkningarna av produktionspris på ett för detta projekt sett relevant sätt, Produktpriset påverkan av råvarupriset. Figur 19 visar en känslighetsanalys där råvarupriset varierats mellan 180-240 SEK/MWh. Axeln till höger i diagrammet anger den beräknade produktionskostnaden. Det ska komma ihåg att priset på MTG-bensin är en råbensin som kräver viss fortsatt uppbyggnad innan den är en färdig produkt. Detsamma gäller FT-produkterna. Helt väntat ökar produktpriset med råvarukostnaden. Vad som också kan ses är fördelningen av kostnadstyperna kapitalkostnader, drift och underhåll samt råvarukostnader.



Figur 19. Diagrammet visar driftkostnader och produktionskostnader för en anläggning som använder 160 000 ton TS poppelbiomassa/år vid olika råvarupriser. På den vänstra vertikala axeln visar staplarna kostnadsuppdelning av driftkostnader per år. Siffrorna ovanför staplarna anger råvarupriset i SEK/MWh. På högra vertikala axeln visar prickarna beräknade produktionskostnader.

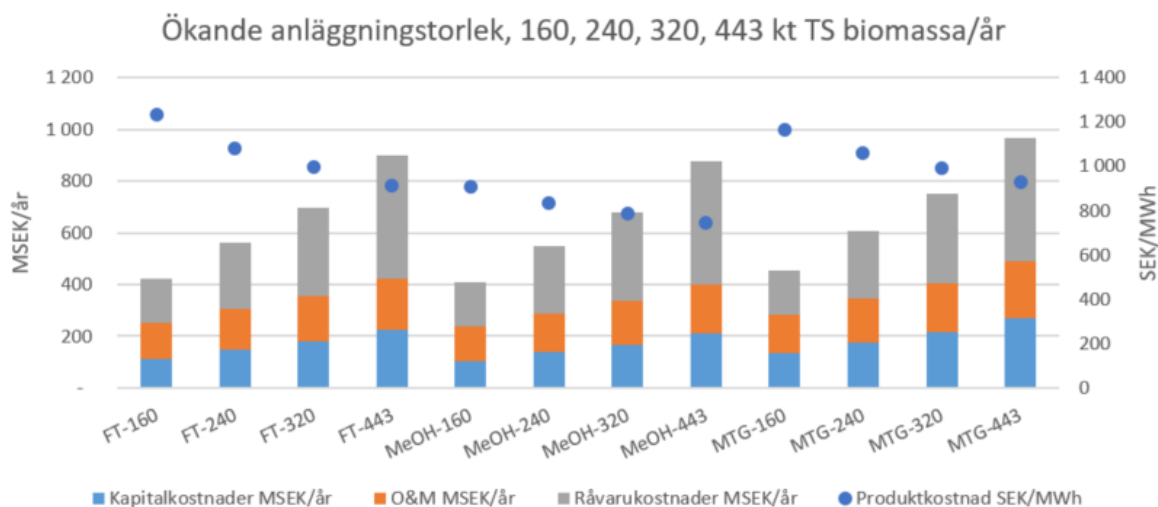
Figur 20 visar den beräknade inverkan av ett investeringsbidrag på produktionskostnaderna. Som kan ses går kapitalkostnaderna ned med ökat bidrag. I beräkningarna har bidraget nyttjats till att minska låneandelen vilket resonerats vara det rimliga i ett utgångsläge där eget kapital/lån är 30/70. Beroende på bankens inlåningsränta i relation till avkastningskravet på ägarnas egna kapital kan lönsamheten vara bättre om det egna kapitalet krediteras av bidraget. Ingen vidare utveckling av det resonemanget görs i denna rapport.



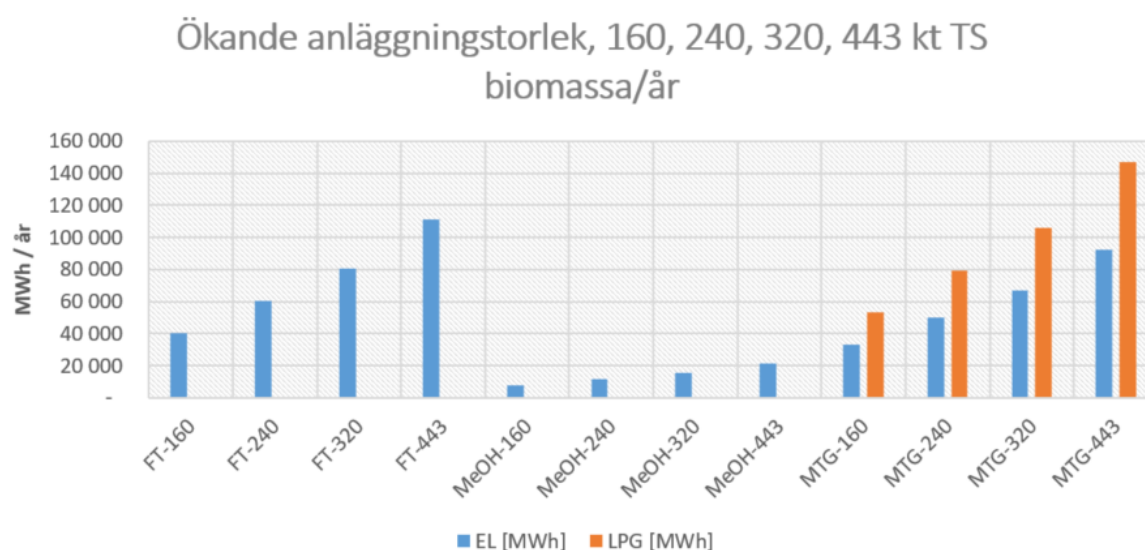
Figur 20. Diagrammet visar basfallet med en anläggningsstorlek om 160 000 ton TS poppelråvara/år med ett pris om 200 SEK/MWh. Effekterna på driftkostnaderna (staplar vänster axel) samt produktionskostnaderna (punkter höger axel som skala) vid ett investeringsbidrag på 0, 250 respektive 500 MSEK.

Kapitalkostnaderna ökar naturligt anläggningens storlek men med skalfördelar sett till produktionskostnad, se figur 21. Drift och underhållskostnader har i modellen satts som en procentuell andel av

investeringskostnaden medan personalkostnader endast ökat marginellt. Råvarukostnaden för biomassa är satt linjär med ökat behov och produkternas prisminskningstakt minskar vartefter denna produktionskostnadsandel ökar.



Figur 21. Diagrammet visar kostnadseffekter vid uppskalning av anläggning. Effekterna på driftkostnaderna (staplar vänster axel) samt produktionskostnaderna (punkter höger axel) vid olika anläggningsstorlekar från 160 000 – 443 000 ton TS poppelråvara/år.

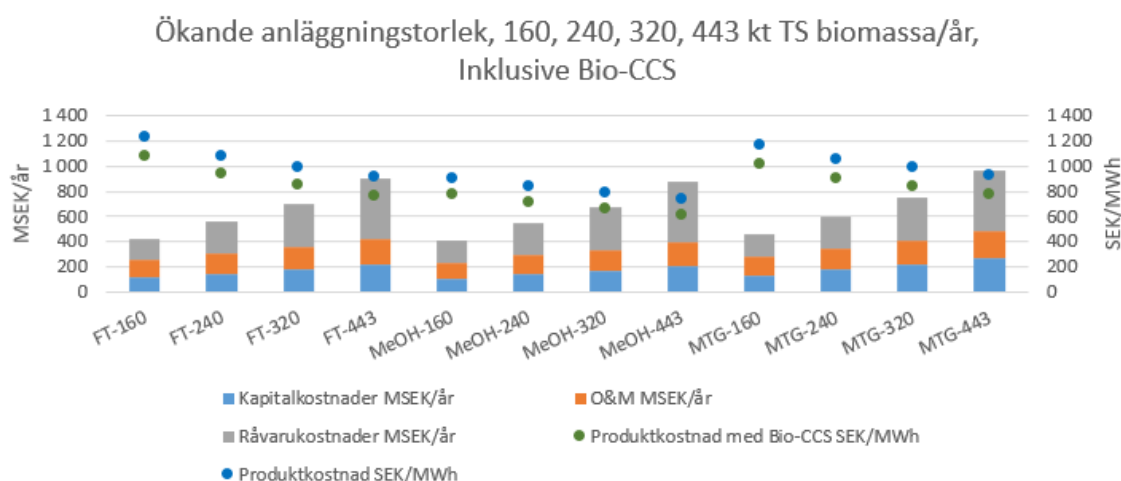


Figur 22. Diagrammet visar netto el-produktion vid olika storlekar på anläggning, 160 000 – 443 000 ton TS poppelråvara/år. I MTG fallen även effekterna på produktionsvolymerna av Bio-LPG (bio-gasol).

Utöver huvudprodukten/huvudprodukterna som produceras, FT, MeOH och MTG, visar figur 22 den netto el-produktion som kan säljas för olika processlösningar och olika anläggningsstorlekar. För MTG-processen produceras utöver el även Bio-LPG (bio-gasol) som kan säljas som produkt.

Ett Bio-CCS system är som tidigare nämnt under nationell utredning i Sverige. Ett införande med en ytterligare intäktström enligt beräknade förutsättningar driver ner produktionskostnaderna ytterligare, vilket kan ses i Figur 23. Sett till potentiella områden för poppelodling och de förutsättningar som Bio-CCS-utredningen anger, anses Vänersborg som en intressant placering. Närhet till

hamn vid havet samt hamnar runt Vänern tas av utredningen upp som lämpliga placeringar för tillämpning av Bio-CCS. Beräkningarna visar att Bio-CCS helt klart ger en bättre lönsamhet för en anläggning. Ett bioraff lämpar sig troligen väl att utföra Bio-CCS då tilläggsinvesteringar av utrustning specifikt för CO₂-avskiljning bör vara betydligt lägre jämfört med flertalet andra industrier med bio-koldioxidflöden. En tolkning av föreslaget system är att vid ett bioraff troligen endast komprimeringen av koldioxiden samt lagring före transport tillkommer då själva koldioxidavskiljningsutrustningen redan ingår i huvudinvesteringen för biodrivmedel.



Figur 23. Figuren visar effekter av intäkter från koldioxid på produktionspris. Infångning komprimering och lagring samt transport för långtidslagring. Data för Bio-CCS beräkningarna är mycket övergripande. Nyttjat CO₂ värde är 550 SEK/ton. Staplar avläses på vänster axel och punkter på höger.

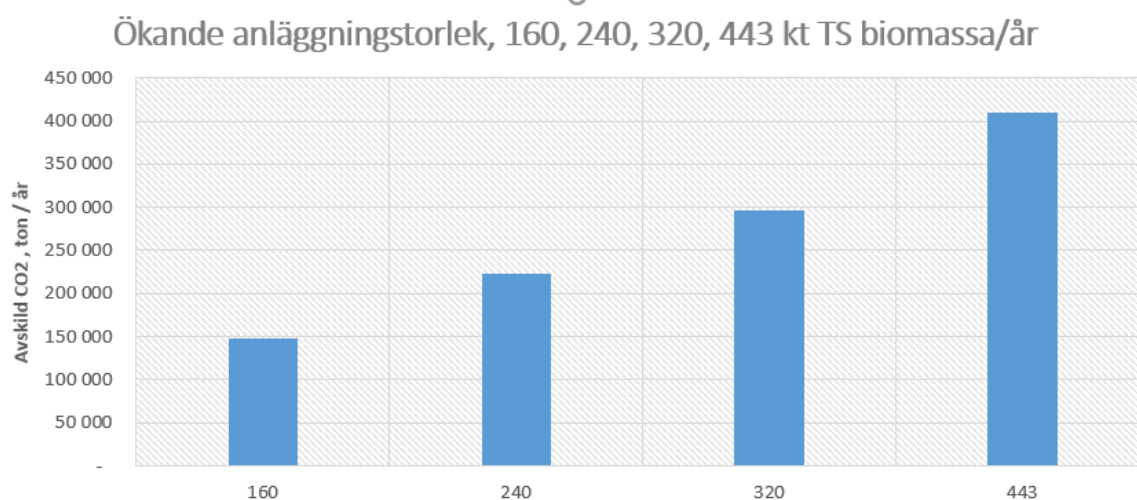
Antagandet för beräkning av tillförd lönsamhet från Bio-CCS är enligt data hämtade ur (Energimyndigheten, ER 2021:31). Beräkningen är gjord med lägsta värden från i rapporten föreslagna intervallen utan någon närmare analys kring detta.

Tabell 22. Kostnadsdata för ett föreslaget Bio-CCS system som använts i beräkningen för Figur 23. Källa: Energimyndigheten, ER 2021:31.

Bio-CCS	Enhet [SEK/ton CO ₂]	Intervall [SEK/ton CO ₂]
CO ₂ on site separation cost	400	400-600
CO ₂ transportation cost	150	150-300
CO ₂ long time storage surveillance	100	100-200
Totalt	650	
CO ₂ CCS value	1100	1100-2000
Avkastning per ton CO₂	550	

En notering från Tabell 22 är att avkastningen enligt exemplet ligger i samma storleksordning som utsläppsrätterna för fossil CO₂ i EU:s utsläppshandelssystem legat på under andra halvåret 2021. Priset på fossila utsläppsrätterna har totalt sett ökat kraftigt under 2021 med en snabbare prisökning under november och början av december till 89 EUR/ton, för att sedan gå ned mot ca 75 EUR/ton.

USA har lanserat ett Bio-CCS system, Q45, där olika typer av koldioxidminskningskoncept ger skattesubventioner mellan 50 USD/ton CO₂ till 35 USD/ton CO₂.



Figur 24. Figuren visar beräknade mängder koldioxid som skulle kunna avskiljas från syntesgas via AGR vid olika anläggningsstorlekar. Anläggningar med ett råvaruintag av poppelbiomassa mellan 160 000 ton TS/år till 443 000 ton TS/år.

Av det totala kolet in till förgasaren beräknas 48 % kunna avskiljas som koldioxid för lagring. Figur 24. Detta avser andelen som kan avskiljas vid gaskonditioneringssteget, figur 12. Övrigt kol hamnar i huvudsak i slutprodukterna. Resterande kol har beräknats som förluster från ej fullständig kolkonvertering i förgasaren, kol rest i aska. Förlusterna kommer även från restgaser och ”purgeströmmar” från gasloopar vid metanol, MTG- och FT-processen. Kolet i aska samt gasströmmarna har beräknats kunna förbrännas i processens panna för generering av ånga, elkraft och värme.

Sammanställningen i tabell 22 visar att produktionspriser för processerna FT, metanol och råbensin via MTG ligger inom intervallen för hittade referensdata. Referensdata är dock inte omräknade till aktuellt årtal 2021 vilket ökar osäkerheten i jämförelsen. Vidare så är bakgrunderna till hur produktionskostnaderna är framräknade inte helt kända. Kostnadsdata i detta projekt är baserade på data i (Hannula och Kurkela, 2013) vilka för vissa anläggningsdelar 2013 var omräknade från äldre kostnadsuppgifter. Av bl.a. den anledningen har (Hannula och Kurkela, 2013), lagt på ett investeringskostnadspåslag på plus 30 %). I detta projekt har CEPCI nyttjats för omräkning till uppskattade kostnader 2020, investeringskostnadspåslaget om 30% har behållits. Detta ger givetvis osäkerheter för vad ett faktiskt aktuellt produktionspris skulle kunna vara. Att beräkningarna avviker från intervallet i (Hannula och Kurkela, 2013) är förutom skalningen i anläggningsstorlek att produktlagerkostnader adderats samt svenska bolagsskatter. Personalbehov- och kostnader har också uppskattats och beräknats på ett annat sätt och är inte linjärt med anläggningsstorleken. Från att produktionsteknologier för de angivna drivmedlen utvecklats för fossilbaserade råvaror och de stora anläggningar som byggts baserade på dessa teknologier har på senare årtionden och relativt nyligen nya teknikutvecklare jobbat på mer biobaserad teknikanpassning. Detta med tanke på de mindre energimängderna biobaserad råvaruvolymer som gissningsvis går att samla till en viss plats till ett attraktivt pris jämfört med fossila råvaror. Biomassaproduktionen, ton per hektar och år, är beroende av odlingsplatsen och det är även troligt att biomassans kemiska sammansättning påverkas av odlingslokalen. Därför finns troligen ett behov av geografiskt platsanpassad teknik.

Tabell 22. Sammanställning av min och max-värden från beräkningar i detta projekt. Tabellen visar även jämförelse med data från tidigare studier. Notera att produktionskostnaderna i jämförande data inte är omräknade till aktuell tidpunkt för projektets data 2021.

Produktionsväg /Referens	Anläggningsstorlek [kton TS/år], [MW]	Produktionspris [€/MWh] ¹	Produkter
Förgasning-FT			
Detta projekt	160-443, 108-300	81-131	Råbensin, Fotogen, Gas oil
VTT Technology 91, 2013	443, 302	65-75 ²	Råbensin, Fotogen, Gas oil
IEA Bioenergy: Task 41, 2020:01		75-144 ³	FT-produkter
Förgasning-Metanol			
Detta projekt	160-443, 108-300	64-97	
VTT Technology 91, 2013	443, 302	57-65 ²	Metanol
IEA, Bioenergy: Task 41, 2020:01		62-112 ³	Metanol
Irena & MI, Renewable Methanol		51-123	Metanol
Förgasning-MTG			(11,17,25,30,42)
Detta projekt	160-443, 108-300	82-124	Råbensin , (Biprodukt –LPG)
VTT Technology 91, 2013	443, 302	67-77 ²	Råbensin , (Biprodukt –LPG)
IEA Bioenergy: Task 41, 2020:01		75-144 ³	Biobensin (TIGAS)
HVO			
IEA Bioenergy: Task 41, 2020:01		51-91 ³	BioDiesel
Etanol			
IEA Bioenergy: Task 41, 2020:01		103-158 ³	Cellulosaetanol
IEA 2018		50-60 ⁴	Jordbruksetanol
¹ 1 EUR = 10 SEK ² Hannula I, Kurkela E. "Liquid transportation fuels via large-scale fluidized-bed gasification of lignocellulosic biomass." Espoo; 2013. (VTT TECHNOLOGY 91). Projektet har nyttjat denna referens som bas men lagt till kostnader för produktlager och skatter. Spannet indikerar olika processkoncept och inte anläggningsstorlekar. ³ IEA, Bioenergy: Task 41, 2020:01. 200 MW drivmedelsprodukter, 8 000 h anläggningsdrift/år. De exakta beräkningsförutsättningarna är inte kända. ⁴ IEA 2018, https://www.iea.org/articles/how-competitive-is-biofuel-production-in-brazil-and-the-united-states . De exakta beräkningsförutsättningar är inte kända.			

För att visa på teknikrelevans och anläggningsstorlek för de i projektet valda processer som analyserats, hänvisar vi till några anläggningar som är under konstruktion eller långt gående i planering:

RedRock Biofuels, Oregon, USA

Red Rock Biofuels (figur 25) anger att investeringen är 304 M€ för att bygga en anläggning med konvertering av 166 000 ton TS/år skogsrester till ~60 000 m³/år diesel och flygbränsle. Teknologin är förgasning av skogliga restprodukter, grot, följt av FT och uppgradering till slutprodukter. Upptagningsområdet för skogsresterna anges till ~10 000 hektar per år medförande ca 17 ton TS per hektar och år.



Figur 25. Figuren visar bioraffinaderiet RedRock Biofuels i Oregon, USA som är under uppförande. Processen är förgasning av skogsrester, grot, följt av FT med uppgradering till biodrivmedel. Källa <https://www.redrockbio.com/>.

Fulcrum, Nevada, USA

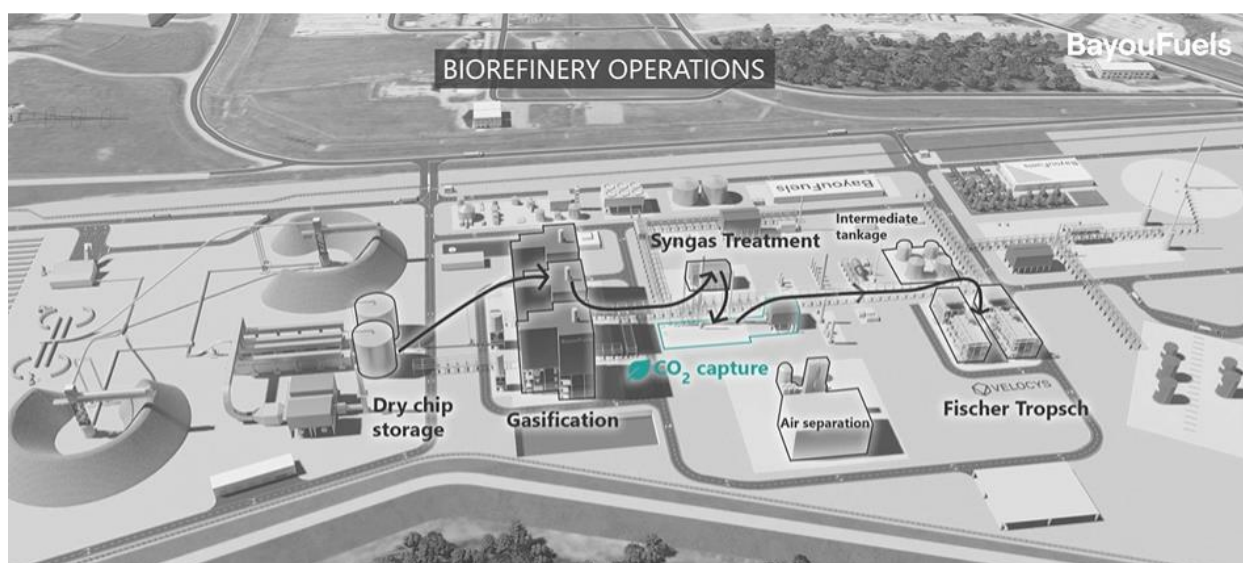
Ett annat intressant projekt sett till storlek är Fulcrumprojektet i Nevada, USA. 175 000 ton MSW/år ska via förgasning och FT omvandlas till ~41 000 m³ biodrivmedel.



Figur 26. Figuren visar en drivmedelsanläggning som byggs av Fulcrum i Nevada, USA. Processen är förgasning av hushållsavfall (MSW) följt av FT med uppgradering till drivmedel. Källa <https://fulcrum-bioenergy.com/>.

Bayou, Mississippi, USA

Ytterligare ett projekt som är rätt långt gånget i planeringen men som inte nått konstruktionsfas är Bayou i Mississippi vilket drivs av FT-teknikutvecklaren Veloscys, figur 27. Teknologin har stora likheter med konceptet som beräknats i detta projekt, framför allt fallet med Bio-CCS. Vad som har kommunicerats är en planerad produktion om totalt ~130 000 kubikmeter biodrivmedel. Mängden biomassa som troligen kommer att krävas är dryga 560 000 ton TS/år. Koldioxid är planerad att avskiljas i processen med nyttjande av USA:s Q45 Bio-CCS system. (Global CCS Institute 2021). Detta för ökad lönsamhet vid koldioxidintäkter samt att produkterna troligen blir mycket attraktiva genom kombination med CCS vilket ger ett negativt koldioxidavtryck.



Figur 27. Figuren visar den planerade processen för Bayou-projektet i Mississippi, USA. Processen är omvandling av skoglig biomassa till biodrivmedel. Detta via förgasning, FT och uppgradering till biodrivmedel. Källa. <https://www.bayoufuels.com/facility/>.

7.4 SLUTSATSER

- Det finns relativt stora områden i södra Sverige där tidigare jordbruksmark planterats med framför allt gran. Här kan poppelodling berika landskapsbilden och öka antalet ekologiska nischer.
- Tillgång av en tillräcklig mängd bioråvara för att nå skalekonomi på en biodrivmedelsanläggning är avgörande för en lönsam anläggning.
- De bästa bioraffinaderiförutsättningarna med poppel som råvara finns i Västra Götaland samt östra Sverige, med centrum i Östergötland. I dessa regioner finns dessutom stor erfarenhet av poppelodling.
- De drivmedelsproduktionspriser som räknats fram i detta projekt ligger i linje med priser i andra projekt. Produktionsprisintervallet för de olika produkterna, 0,64-1,31 SEK/KWh, kan jämföras med dagens marknadspris (22 december 2021) på diesel, ca 1,93 SEK/kWh, och HVO 100, ca 2,08 SEK/KWh, exkl. moms vid pump (Preem och Circle K). Marknadspriset innehåller ev. skatter, handelsmarginaler, transporter och infrastrukturkostnader.

- Införandet av ett Bio-CCS system med en erhållen intäkt för biobaserad koldioxid, skulle avsevärt kunna förbättra lönsamheten.
- Ett extra vätgastillskott är en möjlighet för att uppnå maximerad mängd produkt från en given mängd biomassa. Kolförlusterna, som koldioxid, är ~50 % för de utvärderade koncepten under processandet av biomassa till produkter. Ett grönt vätgastillskott kan erhållas från elektrolys av vatten via förnybar el. Fullt nyttjat skulle denna kolförlust med tillskott av vätgas kunna omvandlas till produkter och mer än fördubbla mängderna slutprodukt från samma mängd biomassa. Vätgasproduktion via elektrolys kräver dock stora mängder el. Beräkningar av detta har inte rymts inom detta projekt.
- Endast grova antaganden och beräkningar är gjorda för Bio-CCS-systemets inverkan på produktpriset. En mer detaljerad analys av biodrivmedelsproduktion med kombinerad Bio-CCS jämförd med vätgasassisterad produktion anses vara ett intressant framtida steg.

REFERENSER

- Adler, A. och Karačić, A. Personlig kontakt, ej publicerade resultat 2021..
- Aosaar, J. The development and biomass production of grey alder stand on abandoned agricultural land in relation to nitrogen and carbon dynamics. PhD thesis, Estonian University of Life Science, Tartu 2012.
- Asmoarp, V. Hofsten, H. Rätt antal axlar på virkesfordonet ger fulla lass. Skogforsk, arbetsrapport, 2019.
- Asmoarp, V. Davidsson, A. Gustavsson, nulägesbeskrivning av flöden av oförädlad biomassa från skog till industri i Sverige. Skogforsk, arbetsrapport 2018.
- Asmoarp, V. Davidsson, A. Gustavsson, O. skogsbrukets vägtransporter. Skogforsk, arbetsrapport, 2018.
- Bach-Oller, A. Alkali-enhanced gasification of biomass: laboratory-scale experimental studies, Dr-avhandling, Luleå tekniska universitet, ISBN: 978-91-7790-237-9, 2018.
- Bale, C., Chartrabd, P., Degterov, S. A., Eriksson, G., Hack, K., Ben Mahfoud, R., Melancon, J., Pelton, A. D., Petersen, S. Calphad. Computer Coupling of Phase Diagrams and Thermochemistry, 2002.
- Berglund, Ö. Berglund, K. Sohlenius, G. Organogen jordbruksmark i Sverige 1999-2008. Rapport 12, Institutionen för markvetenskap, Avdelningen för hydroteknik, Swedish University of Agricultural Sciences Uppsala, 2009.
- Beuker E, Viherä-Aarnio A, Hynynen J. Growth potential of first-generation hybrid aspen plantations in southern Finland. In: Poplars and other fast-growing trees – renewable resources for future green economies. International Poplar Commission, 25th session Berlin, 2016.
- BP, Statistical Review of World Energy 2021, 70th edition
- Björklund, L. Mätning av trädbränslen.140526 SDC, 2014.
- Bräuner-Nielsen U, Madsen P, Kehlet-Hansen J, Nord-Larsen T, Tærø-Nielsen A. Production potential of 36 poplar clones grown at medium length rotation in Denmark. Biomass and Bioenergy, Volume 64, 2014.
- Börjesson, P. m.fl. Dagens och framtidens hållbara biodrivmedel – i sammandrag. f3 2016.
- Böhlenius H, Nilsson U, Salk C. Liming increases early growth of poplars on forest sites with low soil pH. Biomass and energy, 2020.
- Böhlenius H, Felton A, Övergaard R, Skovsgaard JP. Naturliga försvarsmekanismer hos poppel mot betning för uthållig biomassaproduktion. Slutrapport, Energimyndigheten, 2015.
- Böhlenius, H and Övergaard, R. Growth response of hybrid poplars to different types and levels of vegetation control. Scandinavian Journal of Forest Research 2015a.
- Böhlenius, H and Övergaard, R. Exploration of optimal agricultural practices and seedling types for establishing poplar plantations. Forests 2015b.

Böhlenius, H and Övergaard, R. Impact of seedling type on early growth of poplar plantations on forest and agricultural land. Scandinavian Journal of Forest Research 2016.

Björnestrand, Lee J. Efficiency and Emission Analysis of a Methanol Fuelled Direct Injection Spark Ignition Engine. Examensarbete på Civilingenjörsnivå, Avdelningen för Förbränningsmotorer, Institutionen för Energivetenskaper, Lunds Tekniska Högskola, Lunds universitet, 2017.

Bilodeau-Gauthier S, Pare D, Messier C, Belanger N. Juvenile growth of hybrid poplars on acidic boreal soil determined by environmental effects of soil preparation, vegetation control, and fertilization. Forest Ecology and Management, 2011.

Christersson, L. Wood production potential in poplar plantations in Sweden, Biomass and Bio-energy, 2010.

Christersson L. Poplar plantations for paper and energy in the south of Sweden. Biomass and Bio-energy, 2008.

Coll LM, Delagrangé C, Berninger S, Berninger F. Growth, allocation and leaf gas exchanges of hybrid poplar plants in their establishment phase on previously forested sites: effect of different vegetation management techniques. Annals of Forest Science, 2007.

DeBell, D.S.; Harrington, C.A. Productivity of *Populus* in monoclonal and polyclonal blocks at three spacings. Canadian Journal of Forest Research 1997.

Elfving, B. En plantering med poppel, björk och gran på nedlagd jordbruksmark vid Umeå. Institutionen för skogens ekologi och skötsel, SLU Umeå. Institutionsrapport 5. Reviderad 2012.

Elfving, B. Ett försök med åkerplantering av hybridasp och gran nära Sundsvall. "A trial with hybrid aspen and Norway spruce" SLU report. 1986.

Energimyndigheten. Komplettering till Kontrollstation 2019 för reduktionsplikten. 2019.

Energimyndigheten, Drivmedel 2018. ER 2019:14

Energimyndigheten., Första, andra, tredje... Förslag på utformning av ett stödsystem för bio-CCS, ER 2021:31

Energimyndigheten, Drivmedel 2020 Redovisning av rapporterade uppgifter enligt drivmedelslagen, hållbarhetslagen och reduktionsplikten, ER 2021:29

Energimyndigheten, Kontrollstation 2019 för reduktionsplikten Reduktionspliktens utveckling 2021–2030. ER 2019:27

Eriksson, L., Bohlin, F., Hörnfeldt, R., Johansson, T., Lindhagen, A. & Woxblom, L. Skog på jordbruksmark: erfarenheter från de senaste decennierna. Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för skogens produkter, 2011.

EUROPAPARLAMENTETS OCH RÅDETS DIREKTIV (EU). Främjande av användningen av energi från förnybara energikällor (omarbetning) 2018/2001.

European Commission. Building up the future, Final report. Sub Group on Advanced Biofuels Sustainable Transport Forum, 2017.

- Eurostat (2021). Share of renewable energy in gross final energy consumption by sector
https://ec.europa.eu/eurostat/databrowser/view/sdg_07_40/default/table?lang=en
- Falhvik N. Böhlenius H International Poplar Commission, poster, 2021.
- Fjeld, D. Väättäinen, K. Hofsten, H. Noreland, D. Callesen, I. Lazdins, A. A common Nordic-Baltic costing framework for road, rail and sea transport of roundwood Nibio rapport, 2021.
- Global CCS Institute (2021). (<https://www.globalccsinstitute.com/news-media/insights/45q-the-most-progressive-ccs-specific-incentive-globally-is-now-open-for-business/>)
- Guillemette T, DesRochers A. Early growth and nutrition of hybrid poplars fertilized at planting in the boreal forest of western Quebec. *Forest Ecology and Management* 2008
- Guidi, W. Piccioni, E. Ginanni, M. Bonari, E. Bark content estimation in poplar (*Populus deltoides* L.) short-rotation coppice in Central Italy. *Biomass and energy* 2008
- Gustafsson, Ellen. Priset på koldioxid, Timbro oktober 2021
- Hannula I, Kurkela E. "Liquid transportation fuels via large-scale fluidised-bed gasification of lignocellulosic biomass." Espoo, 2013.
- Hartmann, H.T.; Kester, D.E. *Plant propagation: Principles and practices*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs 1975.
- He, H. *Layer Formation on Bed Particles during Fluidized Bed Combustion and Gasification of Woody Biomass*, Dr-avhandling, Luleå tekniska universitet, ISBN: 978-91-7583-885-4, 2017.
- Hedayati, A., Sefidari, H., Skoglund, N., Boman, C., Kienzl, R., Öhman, M. Ash transformation during single-pellet gasification of agricultural biomass with focus on potassium and phosphorus. [Fuel Processing Technology](#), 2021.
- Hedlund, H. personlig kommunikation, NPC webinar meeting 2021.
- Helton, T. and Hindman, M., ExxonMobil Research & Engineering Company (EMRE). *Methanol to Gasoline Technology - An Alternative for Liquid Fuel Production*. Presentation vid GTL Technology Forum. 2014. Tillgänglig:
http://sycomoreen.free.fr/docs_multimedia/MTGexxonmobil.pdf
- Hofmann-Schielle, C., Jug, A., Makeschin, F., Rehfuess, K.E. Short-rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in the federal republic of Germany. I. Site–growth relationships. *Forest Ecology and Management* 1999.
- Hytönen, J. Beuker, E. Viherä-Aarnio, A. Biomass allocation and nutrient content of hybrid aspen clones grown on former agricultural land in Finland, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2020.
- Högström, M., Institutionen för Skoglig Resurshushållning, SLU Umeå. Personlig kommunikation, 2021.
- IEA, *WorldEnergy Outlook*, 2021

IEA, Renewables Analysis and forecasts to 2026. Global biodrivmedelsproduktion 2017-2020, 2021.

Johansson, Kjell. Skogsåkarna i Mellansverige AB. Personlig kommunikation, 2021.

Johansson T. Biomass production of hybrid aspen growing on former farmland in Sweden. Journal of Forest Research 2012.

Johansson T. 2000. Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. Biomass Bioenergy 2000.

Jordbruksverket, Jordbruksstatistisk sammanställning 2019.

Karacic, A. Verwijst, T. Weih, M. Above-ground Woody Biomass Production of Short-rotation Populus Plantations on Agricultural Land in Sweden, Scandinavian Journal of Forest Research 2003.

Karlsson, Åsa Britt, m.fl. Vägen till en klimatpositiv framtid. Betänkande av Klimatpolitiska vägvalsutredningen. Statens Offentliga Utredningar, SOU 2020:4, 2020

Kumm, K-I. Träd på marginell jordbruksmark är lönsam klimatpolitik. Ekonomisk debatt nr 3 årgång 41, 2013.

Lag (2017:1201) om reduktion av växthusgasutsläpp från vissa fossila drivmedel

Lag (2010:598) om hållbarhetskriterier för biodrivmedel och biobränslen

Landgraf, D. Carl, C. Neupert, M. Biomass Yield of 37 Different SRC Poplar Varieties Grown on a Typical Site in North Eastern Germany, 2020.

Larssons, M. Skogsstyrelsen, Skogseko nr 3 2021

Larsson, S., Lundmark, T.& Ståhl, G. Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport från regeringsuppdrag, Jo 2008/1885. 2009.

Liepinš, J. and Liepinš, K. Biomass and bioenergy evaluation of bark volume of four tree species in Latvia. Forestry and wood processing. Research for rural development, 2015.

Liziniewicz, M. Skogforsk, Personlig Kommunikation 2021.

Logistics Insider (2021). Bringing resilience and flexibility to customers' supply chains through integrated solutions. Intervju med Vikash Agarwal, MD-South Asia, A P Moller Maersk 2021-12-11. Tillgänglig: <https://www.logisticsinsider.in/bringing-resilience-and-flexibility-to-customers-supply-chains-through-integrated-solutions/>

Löf M. BJ, Brunet J., Karlsson M., Welander T. Conversion of Norway spruce stands to broadleaved woodland – regeneration systems, fencing and performance of planted plants. Ecological Bulletins 2010.

Lönnqvist, T., Hansson, J., Klintbom, P., Furusjö, E., & Holmgren, K. Drop-in the tank or a new tank? Publ. No FDOS 17:2021. 2021.

- Ma, C. Aspects of Ash Transformations in Pressurised Entrained-Flow Gasification of Woody Biomass: Pilot-scale studies, Dr-avhandling, Luleå tekniska universitet, ISBN: 978-91-7583-875-5, 2017.
- Maersk. Maersk secures green e-methanol for the world's first container vessel operating on carbon neutral fuel. Press release 2021-08-19. Tillgänglig: <https://www.maersk.com/news/articles/2021/08/18/maersk-secures-green-e-methanol>
- Maiden, C.J. The New Zealand Gas-to-Gasoline Project. Studies in Surface Science and Catalysis, vol. 36, pp.1-16. 1988. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167299109604961>
- Manzone, M. Bergante, S. Facciotto, G. Energy and economic evaluation of a poplar plantation for woodchips production in Italy, Biomass and Bioenergy, 2014.
- Mc Carthy, R., et al. (2017). "Effects of soil preparation methods and plant types on the establishment of poplars on forest land." Annals of Forest Science, 2017.
- Nguyen, T-H. Effects of thinning on growth and development of second poplar generations. Master thesis; Swedish University of Agricultural Science 2018
- Nilsson, P. Riksskogstaxeringen, SLU, Personlig kommunikation. 2021.
- Noreland, D. HCT-fordon för rundvirkesvirkestransporter är det en lönsam investering? Skogforsk, arbetsrapport, 2020.
- Olofsson, J. och Börjesson, P. Nedlagd åkermark för biomassaproduktion - Kartläggning och potentialuppskattning. The Swedish Knowledge Centre for Renewable Transportation Fuels and Foundation (f3), 2016.
- Olsson, Y. Statistikenheten, Jordbruksverket. Personlig kommunikation.
- Persson, P-O. Energiskogspoppel Slutrapport Hushållningssällskapet Skaraborg, 2014.
- Petré, E. Tankar om skog, skogsbruk och samhälle, SKOGEN, 2010.
- Pinno BD, Bélanger N. Competition control in juvenile hybrid poplar plantations across a range of site productivities in central Saskatchewan, Canada. New Forest, 2009.
- Pinno BD, Thomas BR, Bélanger N. Predicting the productivity of a young hybrid poplar clone under intensive plantation management in northern Alberta, Canada using soil and site characteristics. New Forest 2009.
- Phyllis 2, Bränsledatabas administrerad av TNO Holland, (<https://phyllis.nl/>), besökt senast 2021-12-01.
- Ringman, M. Trädbränslesortiment definitioner och egenskaper Fakta Skog, Nr 5, 1995
- Rosenqvist, H. Kalkyler för energigrödor, Jordbruksverket. 2019.
- Rytter L, Lutter R, Early growth of different tree species on agricultural land along a latitudinal transect in Sweden, Forestry: An International Journal of Forest Research, 2019.

Rytter, L. & Rytter, R-M. Growth and carbon capture of grey alder (*Alnusincana* (L.) Moench.) under north European conditions – Estimates based on reported research. Forest Ecology and Management, 2016.

Rytter, L., Johansson, K., Karlsson, B. & Stener, L.-G. Tree species, genetics and regeneration for bioenergy feedstock in northern Europe. In: Forest BioEnergy Production (Kellomäki, S., Kilpeläinen, A. & Alam, A., eds.), pp. 7–37. Springer Science BusiNess 2013.

Rytter, L. & Lutter, R. Different tree species on agricultural land along a latitudinal transect in Sweden. Forestry, 2019.

Rytter, L, Johansson, T. Karačić, A. & Weih, M. Investigation for a Swedish research program on the genus *Populus*. Skogforsk Arbetsrapport, 2011.

Jordbruksverket, <http://statistik.sjv.se/> 2021

Jordbruksverket, Historisk statistik. Jordbruket i siffror 1866-2007.

<http://statistik.sjv.se/PXWeb/pxweb/sv/Jordbruksverkets%20statistikdatabas/?rxid=5adf4929-f548-4f27-9bc9-78e127837625>

Sjöfartsverket, Världens första metanoldrivna lotsbåt sjösätts. 2021. tillgänglig:

<https://www.sjofartsverket.se/sv/om-oss/nyheter-och-press/nyheter/varldens-forsta-metanoldrivna-lotsbat-sjosatts/>

Skogsstyrelsen, statistikdatabas 2021.

SLU försöksserie – Produktionsförsök med nya träslag, ej publicerade resultat 2012.

SMHI, Vegetationsperiodens längd, 2021

<https://www.smhi.se/kunskapsbanken/klimat/fenologi/vegetationsperiod>

Stanturf J, A. van Oosten, C. Poplars and Willows, Trees for Society and the Environment, Edited by J G Isebrands, J Richardson, CABI, Oxfordshire, UK. 2014.

Stanturf JA, von Oosten C, Netzer DA, Colman MD, Prtwood CJ. Ecology and Silviculture of poplar plantations. In Dickman, D.I., Eckenwald, J.E. and Richardson, J. (eds) Poplar Culture in North America. National Council of Canada Research Press, Ottawa, Ontario. 2001.

Stendahl, S. Institutionen för mark och miljö, SLU, pH. Elektronisk, tillgänglig:

<https://www.slu.se/miljoanalys/statistik-och-miljodata/miljodata/webbtjanster-miljoanalys/markinfo/markinfo/markkemi/ph/>, 2021.

Stendahl, J. Institutionen för mark och miljö, Skogsmarkens biogeokemi, SLU. Personlig kommunikation, 2021.

Stener L-G, Karlsson B Improvement of *Populus tremula* x *P. tremuloides* by phenotypic selection and clonal testing. Forest Genetics, 2004.

Stenhede, Thomas, Personlig kommunikation, Senior Technical Advisor, [PPS Project Promotion Services Aktiebolag](#), 2021.

Sky, S., and M. Wagner. Forest Plantations and Biodiversity: A Fresh Perspective. Journal of Forestry, 2007.

- Strömberg, B., Herstad-Svärd, S., Bränslehandboken, SVF-1234, ISSN 1653-1248, 2012.
- Tullus, A. Tree growth and the factors affecting it in young hybrid aspen plantations. PhD thesis, Estonian University of Life Sciences, 2010.
- Tullus, H., Tullus, A., Rytter, L. Short-rotation forestry for supplying biomass for energy production. In: Kellomäki, S., Kilpeläinen, A., Alam, A (eds). Forest BioEnergy production: management, carbon sequestration and adaptation. Springer förlag, New York, 2013.
- Tullus A, Rytter L, Tullus T, Weih M, Tullus H. Short-rotation forestry with hybrid aspen (*Populus tremula* L.×*P. tremuloides* Michx.) in Northern Europe. Scandinavian Journal of Forest Research, 2011.
- Truax B, Gagnon D, Fortier J, Lambert F. Yield in 8 year-old hybrid poplar plantations on abandoned farmland along climatic and soil fertility gradients. Forest Ecology and Management 2012.
- Truax B, Gagnon D, Fortier J, Lambert F. Biomass and volume yield in mature hybrid poplar plantations on temperate abandoned farmland. Forests 2014.
- Verwijst, Theo m.fl. Pilotstudie av tillväxtdynamik under olika planteringsförband och omloppstid för poppelplanteringar. Slutrapport, SLF projekt O-15-22-561, 2019. Opublicerat.
- Walls, M. Lindblad, J. Naturresursinstitutets föreskrift om ändring av bilagan till Skogsforskningsinstitutets föreskrift om allmänna omräkningstal i anslutning till virkesmätning. LUKE, Naturresursinstitutet, 2017.
- Weih, M., A. Karacic, H. Munkert, T. Verwijst and M. Diekmann. "Influence of young poplar stands on floristic diversity in agricultural landscapes (Sweden)." Basic and Applied Ecology 2003.
- Wilen, C., Moilanen, A., Kurkela, E. Biomass feedstock analyses, VTT Publications 282, 1996.
- Åkerlund, I. Länsjägmästare Skogsvårdsstyrelsen Skaraborg, Personlig kommunikation, 1988.
- Öhman, M., Pommer, L., Nordin, A. Bed agglomeration characteristics and mechanisms during gasification and combustion of biomass fuels. Energy&Fuels, 2005.

BILAGA 1. SKOGSAREAL

290 kommuner och 21 län finns med på listan, Varav 31 kommuner inte har någon areal med Bonitet $\geq 5,5$ m3sk/ha år. Netto 259 kommuner har arealer vid eller över den produktionen. Kommuner med asterisk * beräknas som utanför växtzon 6.

BILAGA 1. SKOGSAREAL						
Skogsarealen						
Bonitet för bonitetsvisande trädslag $\geq 5,5$ m3sk/ha,år						
År 2000-2019, 20 års medeltal, Ägoslag Produktiv skogsmark						
1000 Hektar						
Län	Kommuner	Barr- dominerade	Löv- dominerade	Blandskog & Kalmark	Summa Kommun	Summa Ha Län Zon 6>
Stockholms län						236335
	Upplands Väsby	3	1		5	
	Vallentuna	14	3	3	20	
	Österåker	7	2	1	10	
	Värmdö	7	1	3	10	
	Järfälla					
	Ekerö	3	1	1	5	
	Huddinge					
	Botkyrka	3	2	2	7	
	Salem	2			3	
	Haninge	5	2	2	9	
	Tyresö				1	
	Upplands-Bro	6	1	1	8	
	Nykvarn	6			7	
	Täby	1			1	
	Danderyd					
	Sollentuna				1	
	Stockholm				1	
	Södertälje	9	3	6	17	
	Nacka		1		2	
	Sundbyberg					
	Solna					
	Lidingö					
	Vaxholm	1			1	
	Norrtälje	67	12	18	98	
	Sigtuna	15	1	3	19	
	Nynäshamn	8	2	4	14	
Uppsala län						399551
	Håbo	4	2	1	7	
	Älvkarleby	8	2	1	11	
	Knivsta	7	1	2	10	
	Heby	49	6	11	66	

Tierp	59	8	14	81
Uppsala	85	9	18	112
Enköping	27	7	5	39
Östhammar	57	8	9	74
Södermanlands län				287590
Vingåker	22	2	2	26
Gnesta	20	3	4	26
Nyköping	54	4	7	65
Oxelösund				
Flen	25	4	5	35
Katrineholm	37	3	5	45
Eskilstuna	31	5	10	46
Strängnäs	27	6	5	39
Trosa	5			5
Östergötlands län				513857
Ödeshög	16	4	4	24
Ydre	41	3	5	49
Kinda	67	5	9	81
Boxholm	25	3	2	30
Åtvidaberg	34	6	5	44
Finspång	47	3	5	56
Valdemarsvik	22	2	2	26
Linköping	37	7	5	50
Norrköping	47	8	5	60
Söderköping	14	4	3	22
Motala	44	4	4	52
Vadstena				
Mjölby	14	2	4	20
Jönköpings län				623518
Aneby	23	7	4	33
Gnosjö	17	1		18
Mullsjö	11	3	1	15
Habo	13	3	1	16
Gislaved	53	3	5	61
Vaggeryd	39	3	3	46
Jönköping	62	8	6	77
Nässjö	51	5	10	66
Värnamo	52	11	12	74
Sävsjö	32	2	4	39
Vetlanda	83	9	11	103
Eksjö	40	6	6	52
Tranås	17	3	2	22
Kronobergs län				575049
Uppvidinge	71	4	9	83
Lessebo	20	2	2	24

Tingsryd	46	13	9	68	
Alvesta	55	8	11	73	
Älmhult	49	4	7	60	
Markaryd	22	5	4	31	
Växjö	90	14	18	122	
Ljungby	83	15	16	114	
Kalmar län					613227
Högsby	48	7	6	60	
Torsås	23	8	4	35	
Mörbylånga	2	5	1	8	
Hultsfred	59	5	8	73	
Mönsterås	19	3	4	26	
Emmaboda	47	5	6	59	
Kalmar	44	8	6	59	
Nybro	69	10	10	89	
Oskarshamn	33	10	7	50	
Västervik	59	9	9	78	
Vimmerby	54	8	7	70	
Borgholm	3	3	2	8	
Gotlands län					11190
Gotland	6	3	3	11	
Blekinge län					169598
Olofström	17	5	2	24	Barrträd i
Karlskrona	36	12	7	55	Nemoral
Ronneby	36	11	5	52	Zon
Karlshamn	17	9	5	31	108 174
Sölvesborg	2	5	1	7	
Skåne län					364631
Svalöv	3	3	1	6	
Staffanstorps					Barrträd i
Burlöv					Nemoral
Vellinge					Zon
Östra Göinge	18	5	3	26	181 959
Örkelljunga	13	5	1	19	
Bjuv	1	2	1	4	
Kävlinge					
Lomma					
Svedala	1	4		6	
Skurup		1		1	
Sjöbo	5	10		15	
Hörby	6	8	1	15	
Höör	6	12	1	19	
Tomelilla	2	4	1	7	
Bromölla	4	2	1	7	
Osby	30	5	6	40	

Perstorp	5	4	2	11	
Klippan	10	7	2	19	
Åstorp					
Båstad	1	3	1	5	
Malmö					
Lund	4	3	1	9	
Landskrona					
Helsingborg		2		2	
Höganäs	1			1	
Eslöv	2	4	1	7	
Ystad		1	1	2	
Trelleborg		1		1	
Kristianstad	23	19	5	48	
Simrishamn	2	2	1	5	
Ängelholm	6	5	2	13	
Hässleholm	37	29	9	76	
Hallands län					263222
Hylte	44	6	7	56	
Halmstad	36	8	5	49	Barrträd
Laholm	21	9	4	34	Nemoral
Falkenberg	44	12	4	60	Zon
Varberg	26	8	3	38	187 549
Kungsbacka	16	7	3	27	
Västra Götalands län					1064820
Härryda	8	1	1	10	
Partille	1			2	
Öckerö					
Stenungsund	9	1	1	12	
Tjörn	1	2	1	4	
Orust	5	2	1	8	
Sotenäs	1	1	1	2	
Munkedal	16	2	2	20	
Tanum	21	2	5	28	
Dals-Ed	22	2	4	28	
Färgelanda	23	1	3	27	
Ale	12	1	1	15	
Lerum	7		2	9	
Vårgårda	21	2	2	25	
Bollebygd	17	1	1	19	
Grästorp	2			3	
Essunga	3			3	
Karlsborg	19	2	3	25	
Gullspång	19	3	3	25	
Tranemo	41	1	3	45	
Bengtstors	41	3	5	49	

Mellerud	12	4	3	19	
Lilla Edet	11	1	2	15	
Mark	41	7	8	56	
Svenljunga	59	3	5	66	
Herrljunga	22	6	4	33	
Vara	12	3	2	17	
Götene	8	3	1	12	
Tibro	11	2	2	15	
Töreboda	25	3	3	31	
Göteborg	2	3	2	7	
Mölndal	3	1	1	5	
Kungälv	4	2	1	7	
Lysekil	2	1		4	
Uddevalla	19	2	3	24	
Strömstad	11	2	2	15	
Vänersborg	9	4	5	18	
Trollhättan	12	1	4	17	
Alingsås	21	2	3	26	
Borås	48	3	6	57	
Ulricehamn	45	6	11	62	
Åmål	20	2	3	24	
Mariestad	23	4	4	32	
Lidköping	10	3	4	16	
Skara	13	5	2	19	
Skövde	16	7	4	27	
Hjo	13	2	1	16	
Tidaholm	25	2	2	29	
Falköping	25	7	4	37	
Värmlands län				746128	
Kil	13	2	4	19	
Eda	32	4	8	43	Växtzon 6<
Torsby *	131	7	15	153	153 037
Storfors	16	2	3	20	
Hammarö		1		1	
Munkfors	9	1	1	11	
Forshaga	21	1	3	25	
Grums	17	1	2	21	
Årjäng	60	6	8	74	
Sunne	62	6	7	76	
Karlstad	34	5	5	44	
Kristinehamn	31	5	5	41	
Filipstad	80	4	7	91	
Hagfors	97	2	8	107	
Arvika	95	3	10	108	
Säffle	48	7	10	65	

Örebro län					475534
Lekeberg	15	2	4	21	
Laxå	29	4	3	35	
Hallsberg	24	5	3	32	
Degerfors	28	2	3	32	
Hällefors	54	3	3	60	
Ljusnarsberg	28	1	2	30	
Örebro	41	11	12	64	
Kumla	4	2	2	8	
Askersund	30	3	6	39	
Karlskoga	15	1	3	18	
Nora	41	3	4	48	
Lindesberg	67	6	14	87	
Västmanlands län					258320
Skinnskatteberg	32	3	4	38	
Surahammar	15	1	2	18	
Kungsör	6	1	2	10	
Hallstahammar	4		1	6	
Norberg	17	1	3	21	
Västerås	21	6	6	33	
Sala	41	8	8	57	
Fagersta	17	2	3	22	
Köping	24	2	4	30	
Arboga	13	6	5	24	
Dalarnas län					691140
Vansbro	50	1	5	56	
Malung-Sälen *	36	1	4	41	
Gagnef	33	3	3	38	Växtzon 6<
Leksand	58	7	8	73	87 255
Rättvik	55	3	4	62	
Orsa *	23	3	2	27	
Älvdalen *	17		1	19	
Smedjebacken	60	4	6	69	
Mora	59	5	6	70	
Falun	94	5	9	108	
Borlänge	24	3	2	29	
Säter	22	3	4	30	
Hedemora	42	7	7	56	
Avesta	20	2	3	25	
Ludvika	65	3	7	75	
Gävleborgs län					847417
Ockelbo	51	2	4	57	
Hofors	23	4	4	31	
Ovanåker	70	5	9	84	
Nordanstig	36	7	8	51	

Ljusdal	117	6	17	140	
Gävle	74	10	12	96	
Sandviken	56	2	6	63	
Söderhamn	50	6	11	68	
Bollnäs	91	9	14	114	
Hudiksvall	115	11	16	142	
Västernorrlands län				169490	
Ånge *	16	4	8	29	
Timrå	7	2	3	12	
Härnösand	17	2	8	27	<u>Växtzon 6<</u>
Sundsvall	33	10	15	59	52 553
Kramfors	23	4	8	35	
Sollefteå *	16	5	3	24	
Örnsköldsvik	23	6	7	36	
Jämtlands län				5032	
Ragunda	2	1	1	4	
Bräcke *	8	1	3	12	<u>Växtzon 6<</u>
Krokom *	1			1	21 340
Strömsund *	3			3	
Åre*	1		1	1	
Berg *	1			1	
Härjedalen *	2	1		4	
Östersund	1			1	
Västerbottens län				50951	
Nordmaling	5		2	7	
Bjurholm	4		1	5	
Vindeln *	1			2	
Robertsfors	5	1	2	7	
Norsjö *					<u>Växtzon 6<</u>
Malå *					3343
Storuman *					
Sorsele *					
Dorotea *					
Vännäs	5	1	1	7	
Vilhelmina *					
Åsele *	1			1	
Umeå	10	1	2	13	
Lycksele *					
Skellefteå	10	1	2	13	
Norrbottens län				5328	
Arvidsjaur *					
Arjeplog *					
Jokkmokk *					<u>Växtzon 6<</u>
Överkalix *	1			1	2789

	Kalix					
	Övertorneå *					
	Pajala *	1			1	
	Gällivare *					
	Älvsbyn				1	
	Luleå	1			1	
	Piteå	2			2	
	Boden *	1			1	
	Haparanda	1			1	
	Kiruna *					
Sverige:	Totalsumma	6 623	1 001	1 068	8692	8371928

BILAGA 2. AREALER 2019

Kommuner med asterix * beräknas vara utanför växtzon 1-6.

Arealer 2019				
kommun	Grödkod 49 Hektar	TRÄDA Hektar	Ospec. Åker Hektar	Summa Ej brukad
0114 UPPLANDS VÄSBY	165	103	5	273
0115 VALLENTUNA	692	517	9	1218
0117 ÖSTERÅKER	120	183	18	321
0120 VÄRMDÖ	126	86	4	216
0123 JÄRFÄLLA	86	16	1	103
0125 EKERÖ	366	588	31	985
0126 HUDDINGE	54	1	0	55
0127 BOTKYRKA	276	317	..	593
0128 SALEM	18	134	..	152
0136 HANINGE	249	230	0	479
0138 TYRESÖ	0	7	..	7
0139 UPPLANDS-BRO	456	330	0	786
0140 NYKVARN	99	336	16	451
0160 TÄBY	64	46	..	110
0162 DANDERYD	43	..	..	43
0163 SOLLENTUNA	46	7	1	54
0180 STOCKHOLM	10	1	8	19
0181 SÖDERTÄLJE	673	927	39	1639
0182 NACKA	55	1	0	56
0183 SUNDBYBERG	0	..	..	0
0184 SOLNA	0	..	3	3
0186 LIDINGÖ	2	9	..	11
0187 VAXHOLM	7	16	..	23
0188 NORRTÄLJE	3386	3172	58	6616
0191 SIGTUNA	816	818	2	1636
0192 NYNÄSHAMN	606	689	10	1305
0305 HÅBO	155	222	1	378
0319 ÄLVKARLEBY	82	40	5	127
0330 KNIVSTA	292	622	12	926
0331 HEBY	1230	3096	26	4352
0360 TIERP	1258	1865	75	3198
0380 UPPSALA	1486	4177	33	5696
0381 ENKÖPING	1243	2953	17	4213
0382 ÖSTHAMMAR	950	1089	38	2077
0428 VINGÅKER	1075	477	20	1572
0461 GNESTA	539	549	17	1105

0480 NYKÖPING	2341	1510	37	3888
0481 OXELÖSUND	1	25	..	26
0482 FLEN	1006	753	30	1789
0483 KATRINEHOLM	865	1123	31	2019
0484 ESKILSTUNA	1043	2113	55	3211
0486 STRÄNGNÄS	937	1434	12	2383
0488 TROSA	150	259	..	409
0509 ÖDESHÖG	204	233	25	462
0512 YDRE	155	35	5	195
0513 KINDA	549	125	9	683
0560 BOXHOLM	173	67	12	252
0561 ÅTVIDABERG	674	278	14	966
0562 FINSPÅNG	1510	255	63	1828
0563 VALDEMARSVIK	759	466	12	1237
0580 LINKÖPING	1207	1336	46	2589
0581 NORRKÖPING	1653	1495	37	3185
0582 SÖDERKÖPING	875	873	17	1765
0583 MOTALA	798	1075	21	1894
0584 VADSTENA	42	394	7	443
0586 MJÖLBY	381	846	13	1240
0604 ANEBY	447	63	16	526
0617 GNOSJÖ	138	45	29	212
0642 MULLSJÖ	242	35	6	283
0643 HABO	244	60	14	318
0662 GISLAVED	443	87	15	545
0665 VAGGERYD	311	44	22	377
0680 JÖNKÖPING	1072	290	70	1432
0682 NÄSSJÖ	519	88	22	629
0683 VÄRNAMO	481	78	40	599
0684 SÄVSJÖ	311	40	26	377
0685 VETLANDA	819	143	43	1005
0686 EKSJÖ	342	103	12	457
0687 TRANÅS	163	34	16	213
0760 UPPVIDINGE	94	32	6	132
0761 LESSEBO	31	3	4	38
0763 TINGSRYD	202	46	59	307
0764 ALVESTA	328	89	39	456
0765 ÄLMHULT	247	41	23	311
0767 MARKARYD	159	61	14	234
0780 VÄXJÖ	572	192	86	850
0781 LJUNGBY	882	358	58	1298
0821 HÖGSBY	186	55	10	251
0834 TORSÅS	299	204	28	531

0840 MÖRBYLÅNGA	531	482	16	1029
0860 HULTSFRED	343	149	24	516
0861 MÖNSTERÅS	440	140	24	604
0862 EMMABODA	169	21	12	202
0880 KALMAR	643	685	41	1369
0881 NYBRO	323	55	29	407
0882 OSKARSHAMN	478	201	41	720
0883 VÄSTERVIK	1534	545	47	2126
0884 VIMMERBY	683	91	14	788
0885 BORGHOLM	696	351	16	1063
0980 GOTLAND	3795	3058	116	6969
1060 OLOFSTRÖM	197	26	26	249
1080 KARLSKRONA	715	235	99	1049
1081 RONNEBY	743	197	28	968
1082 KARLSHAMN	529	177	19	725
1083 SÖLVESBORG	263	234	6	503
1214 SVALÖV	619	555	30	1204
1230 STAFFANSTORP	104	137	2	243
1231 BURLÖV	22	19	1	42
1233 VELLINGE	171	198	30	399
1256 ÖSTRA GÖINGE	444	114	13	571
1257 ÖRKELLJUNGA	306	27	27	360
1260 BJUV	198	189	12	399
1261 KÄVLINGE	141	300	8	449
1262 LOMMA	77	111	10	198
1263 SVEDALA	630	446	36	1112
1264 SKURUP	606	371	19	996
1265 SJÖBO	1160	558	36	1754
1266 HÖRBY	1228	293	45	1566
1267 HÖÖR	611	173	38	822
1270 TOMELILLA	1022	332	40	1394
1272 BROMÖLLA	304	94	13	411
1273 OSBY	179	31	10	220
1275 PERSTORP	213	41	10	264
1276 KLIPPAN	731	196	22	949
1277 ÅSTORP	212	195	15	422
1278 BÅSTAD	688	230	32	950
1280 MALMÖ	95	141	2	238
1281 LUND	873	727	32	1632
1282 LANDSKRONA	158	278	32	468
1283 HELSINGBORG	669	610	30	1309
1284 HÖGANÄS	356	359	29	744
1285 ESLÖV	553	716	20	1289

1286 YSTAD	469	702	35	1206
1287 TRELLEBORG	354	466	39	859
1290 KRISTIANSTAD	2169	1438	119	3726
1291 SIMRISHAMN	618	517	102	1237
1292 ÄNGELHOLM	893	479	54	1426
1293 HÄSSLEHOLM	1679	370	110	2159
1315 HYLTE	406	79	20	505
1380 HALMSTAD	1162	644	38	1844
1381 LAHOLM	1166	487	55	1708
1382 FALKENBERG	1362	698	46	2106
1383 VARBERG	1558	677	120	2355
1384 KUNGSBACKA	1228	701	103	2032
1401 HÄRRYDA	107	11	25	143
1402 PARTILLE	1	0	..	1
1407 ÖCKERÖ	0	..	..	0
1415 STENUNGSUND	418	208	34	660
1419 TJÖRN	217	99	57	373
1421 ORUST	433	279	101	813
1427 SOTENÄS	120	205	15	340
1430 MUNKEDAL	614	1061	50	1725
1435 TANUM	833	2124	63	3020
1438 DALS-ED	1158	647	60	1865
1439 FÄRGELANDA	1320	1486	37	2843
1440 ALE	669	420	22	1111
1441 LERUM	171	107	25	303
1442 VÅRGÅRDA	552	427	82	1061
1443 BOLLEBYGD	140	34	18	192
1444 GRÄSTORP	230	776	11	1017
1445 ESSUNGA	328	762	20	1110
1446 KARLSBORG	122	98	7	227
1447 GULLSPÅNG	208	287	63	558
1452 TRANEMO	486	68	33	587
1460 BENGTSFORS	777	476	77	1330
1461 MELLERUD	685	711	60	1456
1462 LILLA EDET	682	461	25	1168
1463 MARK	1001	412	73	1486
1465 SVENLJUNGA	474	77	41	592
1466 HERRLJUNGA	613	289	20	922
1470 VARA	750	2112	29	2891
1471 GÖTENE	380	759	10	1149
1472 TIBRO	163	126	26	315
1473 TÖREBODA	672	687	22	1381
1480 GÖTEBORG	391	271	10	672

1481 MÖLNDAL	198	18	6	222
1482 KUNGÄLV	535	371	57	963
1484 LYSEKIL	263	235	9	507
1485 UDDEVALLA	748	920	55	1723
1486 STRÖMSTAD	543	598	15	1156
1487 VÄNERSBORG	838	1473	47	2358
1488 TROLLHÄTTAN	759	1137	32	1928
1489 ALINGSÅS	799	568	70	1437
1490 BORÅS	468	96	78	642
1491 ULRICEHAMN	938	174	73	1185
1492 ÅMÅL	679	456	18	1153
1493 MARIESTAD	565	753	26	1344
1494 LIDKÖPING	608	1635	40	2283
1495 SKARA	754	561	41	1356
1496 SKÖVDE	1279	1224	25	2528
1497 HJO	324	218	20	562
1498 TIDAHOLM	902	625	34	1561
1499 FALKÖPING	2242	1827	39	4108
1715 KIL	584	301	98	983
1730 EDA	509	175	42	726
1737 TORSBY *	324	223	125	672
1760 STORFORS	401	180	23	604
1761 HAMMARÖ	90	7	12	109
1762 MUNKFORS	106	57	9	172
1763 FORSHAGA	355	234	26	615
1764 GRUMS	442	212	17	671
1765 ÅRJÄNG	1173	513	100	1786
1766 SUNNE	1114	965	148	2227
1780 KARLSTAD	1420	1387	80	2887
1781 KRISTINEHAMN	648	230	28	906
1782 FILIPSTAD	110	97	36	243
1783 HAGFORS	304	332	75	711
1784 ARVIKA	509	629	117	1255
1785 SÄFFLE	1316	1336	70	2722
1814 LEKEBERG	151	1010	44	1205
1860 LAXÅ	100	87	11	198
1861 HALLSBERG	468	1027	26	1521
1862 DEGERFORS	78	121	10	209
1863 HÄLLEFORS	95	19	6	120
1864 LJUSNARSBERG	92	76	18	186
1880 ÖREBRO	1043	3119	78	4240
1881 KUMLA	59	758	23	840
1882 ASKERSUND	277	544	36	857

1883 KARLSKOGA	230	95	9	334
1884 NORA	60	86	31	177
1885 LINDESBERG	934	1417	81	2432
1904 SKINNSKATTEBERG	242	218	22	482
1907 SURAHAMMAR	237	168	5	410
1917 HEBY	0	..	..	0
1960 KUNGSÖR	360	712	7	1079
1961 HALLSTAHAMMAR	90	232	..	322
1962 NORBERG	192	270	6	468
1980 VÄSTERÅS	716	1781	29	2526
1981 SALA	1173	2547	39	3759
1982 FAGERSTA	147	152	11	310
1983 KÖPING	384	1193	15	1592
1984 ARBOGA	276	774	10	1060
2021 VANSBRO	27	71	3	101
2023 MALUNG-SÅLEN *	48	90	7	145
2026 GAGNEF	25	94	13	132
2029 LEKSAND	155	87	38	280
2031 RÄTTVIK	112	54	36	202
2034 ORSA *	10	17	15	42
2039 ÄLVDALEN *	8	2	21	31
2061 SMEDJEBACKEN	533	197	43	773
2062 MORA	73	77	42	192
2080 FALUN	128	315	89	532
2081 BORLÄNGE	348	563	26	937
2082 SÄTER	248	290	22	560
2083 HEDEMORA	590	476	45	1111
2084 AVESTA	1065	723	22	1810
2085 LUDVIKA	167	43	64	274
2101 OCKELBO	130	190	40	360
2104 HOFORS	235	268	20	523
2121 OVANÅKER	194	154	44	392
2132 NORDANSTIG	402	166	65	633
2161 LJUSDAL	273	144	112	529
2180 GÄVLE	359	306	35	700
2181 SANDVIKEN	710	826	84	1620
2182 SÖDERHAMN	381	175	37	593
2183 BOLLNÄS	478	256	79	813
2184 HUDIKSVALL	377	215	94	686
2260 ÅNGE *	416	97	84	597
2262 TIMRÅ	320	29	37	386
2280 HÄRNÖSAND	780	286	64	1130
2281 SUNDSVALL	1132	296	184	1612

2282 KRAMFORS	1656	480	111	2247
2283 SOLLEFTEÅ *	1402	485	112	1999
2284 ÖRNSKÖLDSVIK	2638	843	330	3811
2303 RAGUNDA	424	99	32	555
2305 BRÄCKE *	368	49	26	443
2309 KROKOM *	954	298	91	1343
2313 STRÖMSUND *	916	225	147	1288
2321 ÅRE *	604	137	46	787
2326 BERG *	664	71	90	825
2361 HÄRJEDALEN *	259	72	40	371
2380 ÖSTERSUND	1096	240	93	1429
2401 NORDMALING	626	559	55	1240
2403 BJURHOLM	194	199	46	439
2404 VINDELN *	286	228	45	559
2409 ROBERTSFORS	563	494	25	1082
2417 NORSJÖ *	115	71	12	198
2418 MALÅ *	40	7	8	55
2421 STORUMAN *	62	70	64	196
2422 SORSELE *	99	48	21	168
2425 DOROTEA *	22	20	12	54
2460 VÄNNÄS	507	628	43	1178
2462 VILHELMINA *	117	63	61	241
2463 ÅSELE *	119	53	32	204
2480 UMEÅ	1746	1435	118	3299
2481 LYCKSELE *	271	122	41	434
2482 SKELLEFTEÅ	3967	2777	322	7066
2505 ARVIDSJAUR *	93	38	30	161
2506 ARJEPLOG *	0	..	..	0
2510 JOKKMOKK *	10	6	19	35
2513 ÖVERKALIX *	132	43	25	200
2514 KALIX	931	84	52	1067
2518 ÖVERTORNEÅ *	330	156	55	541
2521 PAJALA *	205	40	62	307
2523 GÄLLIVARE *	20	7	10	37
2560 ÄLVSBY	497	229	25	751
2580 LULEÅ	1741	626	112	2479
2581 PITEÅ	926	342	80	1348
2582 BODEN *	1607	253	62	1922
2583 HAPARANDA	458	105	35	598
2584 KIRUNA *	32	6	21	59
	159483	131724	10946	302153

Fr o m 2007-01-01 överförs Heby kommun från Västmanlands län till Uppsala län. Hebys
kommunkod ändras från 1917 till 0331.

Källa: Jordbruksverket

BILAGA 3. TOTAL ÅKERAREAL

BILAGA 3						
Total Åkerareal i hektar per län/riket 1919,1937 och 2019						
		Störst av				Areal som
		1919	1937	19 & 37	2019	Försvunnit
Stockholms län	åkerjord	165505	157222	165505	78963	86542
Uppsala län **	åkerjord	154338	154496	154496	162214	-7718
Södermanlands län	åkerjord	182027	177080	182027	123838	58189
Östergötlands län	åkerjord	259107	249031	259107	199498	59609
Jönköpings län	åkerjord	140311	134897	140311	85777	54534
Kronobergs län	åkerjord	101890	99912	101890	46102	55788
Kalmar län	åkerjord	196992	188497	196992	118563	78429
Gotlands län *	åkerjord	77044	83622	83622	85580	-1958
Blekinge län	åkerjord	62371	62685	62685	30110	32575
Kristianstads län	åkerjord	247458	235998	247458	12 Skåne län	
Malmöhus län	åkerjord	347081	335051	347081	437101	157438
Hallands län	åkerjord	146864	144429	146864	106864	40000
Göteborgs och Bohus län	åkerjord	99598	93923	99598	458863	200402
Älvsborgs län	åkerjord	221666	209133	221666	14 Västra Götalands län	
Skaraborgs län	åkerjord	338001	322022	338001		
Värmlands län	åkerjord	195155	187625	195155	104855	90300
Örebro län	åkerjord	162509	158249	162509	102975	59534
Västmanlands län**	åkerjord	166460	163326	166460	100127	66333
Dalarnas län	åkerjord	106222	108555	108555	58670	49885
Gävleborgs län	åkerjord	115815	113112	115815	66173	49642
Västernorrlands län	åkerjord	98147	100178	100178	46997	53181
Jämtlands län	åkerjord	66676	66990	66990	38785	28205
Västerbottens län	åkerjord	91631	114807	114807	67402	47405
Norrbottnens län	åkerjord	47628	70198	70198	32043	38155
Riket	åkerjord	3790496	3731038	3847970	2551499	1296471
Största åkerarealen mellan 1919 -1937						
* Gotland har våtmarker uppodlats sedan 1937 därför är åkermarken större 2019						
**Heby har tillförts Uppland från Västmanland						

BILAGA 4. HELA ÅKERAREALEN

Kommuner med asterix beräknas som utanför växtzon 1-6.

BILAGA 4. HELA ÅKERAREALEN			
Skillnaden mellan SJV och Lantmäteriet, Hektar			
	<u>SJV</u>	<u>Lantmäteriet</u>	<u>Skillnad i areal</u>
0114 UPPLANDS VÄSBY	1228	1324	
0115 VALLENTUNA	7284	7696	
0117 ÖSTERÅKER	1646	1972	
0120 VÄRMDÖ	1028	1433	
0123 JÄRFÄLLA	198	230	
0125 EKERÖ	5798	6225	
0126 HUDDINGE	403	500	
0127 BOTKYRKA	2850	3026	
0128 SALEM	714	745	
0136 HANINGE	2702	3279	
0138 TYRESÖ	35	124	
0139 UPPLANDS-BRO	4866	5300	
0140 NYKVARN	1647	1909	
0160 TÄBY	543	613	
0162 DANDERYD	61	60	
0163 SOLLENTUNA	135	182	
0180 STOCKHOLM	71	194	
0181 SÖDERTÄLJE	9187	9961	
0182 NACKA	127	142	
0183 SUNDBYBERG			
0184 SOLNA	2	19	
0186 LIDINGÖ	99	102	
0187 VAXHOLM	268	282	
0188 NORRTÄLJE	24114	27056	
0191 SIGTUNA	8483	9122	
0192 NYNÄSHAMN	5088	5707	8623
Summa Stockholm	78577	87200	
0305 HÅBO	3722	3892	
0319 ÄLVKARLEBY	306	463	
0330 KNIVSTA	6853	7246	
0331 HEBY	18729	19800	
0360 TIERP	19367	20761	
0380 UPPSALA	47522	49398	
0381 ENKÖPING	50266	51165	
0382 ÖSTHAMMAR	15194	16880	7645
Summa Uppland	161959	169604	
0428 VINGÅKER	7834	8233	
0461 GNESTA	7869	8479	

0480 NYKÖPING	29295	30673	
0481 OXELÖSUND	212	218	
0482 FLEN	13663	14441	
0483 KATRINEHOLM	19504	20596	
0484 ESKILSTUNA	26596	27900	
0486 STRÄNGNÄS	15262	15971	
0488 TROSA	3398	3657	6538
Summa Södermanland	123633	130171	
0509 ÖDESHÖG	8880	9280	
0512 YDRE	3500	3780	
0513 KINDA	8340	9076	
0560 BOXHOLM	3302	3459	
0561 ÅTVIDABERG	6312	6824	
0562 FINSPÅNG	7501	8195	
0563 VALDEMARSVIK	9533	10152	
0580 LINKÖPING	41961	43056	
0581 NORRKÖPING	34087	35241	
0582 SÖDERKÖPING	13555	14099	
0583 MOTALA	24444	25275	
0584 VADSTENA	13991	14145	
0586 MJÖLBY	23748	24224	7653
Summa Östergötland	199154	206807	
0604 ANEBY	5408	5837	
0617 GNOSJÖ	1651	1838	
0642 MULLSJÖ	1594	1810	
0643 HABO	3994	4297	
0662 GISLAVED	6455	7344	
0665 VAGGERYD	4452	5056	
0680 JÖNKÖPING	17199	18516	
0682 NÄSSJÖ	7675	8692	
0683 VÄRNAMO	8136	9150	
0684 SÄVSJÖ	5652	6194	
0685 VETLANDA	12196	13416	
0686 EKSJÖ	6451	7013	
0687 TRANÅS	4850	5162	8613
Summa Jönköping	85713	94326	
0760 UPPVIDINGE	2352	2814	
0761 LESSEBO	749	887	
0763 TINGSRYD	4380	5200	
0764 ALVESTA	8320	9306	
0765 ÄLMHULT	3440	4331	
0767 MARKARYD	1471	2272	
0780 VÄXJÖ	13328	14757	
0781 LJUNGBY	12187	13889	7229
Summa Kronoberg	46227	53456	

0821 HÖGSBY	3552	3984	
0834 TORSÅS	5539	6068	
0840 MÖRBYLÅNGA	19678	20463	
0860 HULTSFRED	6823	7646	
0861 MÖNSTERÅS	5836	6435	
0862 EMMABODA	1868	2379	
0880 KALMAR	20230	20902	
0881 NYBRO	4470	5276	
0882 OSKARSHAMN	3113	3878	
0883 VÄSTERVIK	18636	20314	
0884 VIMMERBY	7837	8854	
0885 BORGHOLM	20844	22302	10077
Summa Kalmar	118426	128503	
0980 GOTLAND	85494	91048	5554
Summa Gotland	85494	91048	
1060 OLOFSTRÖM	1910	2312	
1080 KARLSKRONA	10113	11246	
1081 RONNEBY	7281	8057	
1082 KARLSHAMN	4110	4642	
1083 SÖLVESBORG	6960	7108	2990
Summa Blekinge	30374	33364	
1214 SVALÖV	21049	21826	
1230 STAFFANSTORP	8183	8450	
1231 BURLÖV	577	560	
1233 VELLINGE	8585	8838	
1256 ÖSTRA GÖINGE	6038	6495	
1257 ÖRKELLJUNGA	1890	2863	
1260 BJUV	6150	6237	
1261 KÄVLINGE	9735	10159	
1262 LOMMA	3499	3495	
1263 SVEDALA	11650	12150	
1264 SKURUP	14604	15103	
1265 SJÖBO	26161	27587	
1266 HÖRBY	16043	17243	
1267 HÖÖR	7159	8016	
1270 TOMELILLA	22180	23402	
1272 BROMÖLLA	2853	2953	
1273 OSBY	1838	2381	
1275 PERSTORP	1359	1706	
1276 KLIPPAN	8512	9327	
1277 ÅSTORP	5240	5551	
1278 BÅSTAD	9950	10672	
1280 MALMÖ	4559	4761	
1281 LUND	18789	19894	
1282 LANDSKRONA	9277	9456	

1283 HELSINGBORG	21539	22536	
1284 HÖGANÄS	9059	9528	
1285 ESLÖV	29064	29742	
1286 YSTAD	23898	24514	
1287 TRELLEBORG	27405	28035	
1290 KRISTIANSTAD	42685	44572	
1291 SIMRISHAMN	21515	21782	
1292 ÄNGELHOLM	17667	18737	
1293 HÄSSLEHOLM	18354	20671	22174
Summa Skåne	437066	459240	
1315 HYLTE	2899	3574	
1380 HALMSTAD	20719	22112	
1381 LAHOLM	21763	23501	
1382 FALKENBERG	27044	28454	
1383 VARBERG	24042	25521	
1384 KUNGSBACKA	10319	11712	8089
Summa Halland	106786	114875	
1401 HÄRRYDA	640	1002	
1402 PARTILLE	100	115	
1407 ÖCKERÖ		5	
1415 STENUNGSUND	2493	2971	
1419 TJÖRN	1670	2237	
1421 ORUST	5458	6556	
1427 SOTENÄS	1577	1756	
1430 MUNKEDAL	8973	9820	
1435 TANUM	11582	12619	
1438 DALS-ED	3930	4518	
1439 FÄRGELANDA	9942	10625	
1440 ALE	4026	4737	
1441 LERUM	1850	2303	
1442 VÅRGÅRDA	7962	8774	
1443 BOLLEBYGD	541	946	
1444 GRÄSTORP	14978	15269	
1445 ESSUNGA	11049	11438	
1446 KARLSBORG	3105	3450	
1447 GULLSPÅNG	4205	4644	
1452 TRANEMO	4485	5252	
1460 BENGTSFORS	3359	4094	
1461 MELLERUD	17402	17939	
1462 LILLA EDET	4363	4788	
1463 MARK	10267	12180	
1465 SVENLJUNGA	4987	5805	
1466 HERRLJUNGA	8992	9818	
1470 VARA	38753	39724	
1471 GÖTENE	17493	18182	

1472 TIBRO	4738		4994	
1473 TÖREBODA	16212		16948	
1480 GÖTEBORG	2780		3406	
1481 MÖLNDAL	726		1170	
1482 KUNGÄLV	6011		6908	
1484 LYSEKIL	2917		3262	
1485 UDDEVALLA	7558		8653	
1486 STRÖMSTAD	4809		5335	
1487 VÄNERSBORG	21441		22110	
1488 TROLLHÄTTAN	9204		9812	
1489 ALINGSÅS	7357		8300	
1490 BORÅS	4255		5485	
1491 ULRICEHAMN	10404		12003	
1492 ÅMÅL	4902		5277	
1493 MARIESTAD	16763		17510	
1494 LIDKÖPING	37707		38604	
1495 SKARA	14693		15273	
1496 SKÖVDE	23138		24395	
1497 HJO	9608		9895	
1498 TIDAHOLM	12515		13175	
1499 FALKÖPING	36592		39033	34599
Summa Västra Götaland	458512		493111	
1715 KIL	6788		7265	
1730 EDA	4497		5271	
1737 TORSBY *	3488		4483	
1760 STORFORS	2602		3021	
1761 HAMMARÖ	323		456	
1762 MUNKFORS	723		906	
1763 FORSHAGA	2714		3139	
1764 GRUMS	4298		4736	
1765 ÅRJÄNG	5145		6360	
1766 SUNNE	10465	101239	12220	112247
1780 KARLSTAD	21691		23009	
1781 KRISTINEHAMN	10835		11442	
1782 FILIPSTAD	1063		1421	
1783 HAGFORS	3523		4186	
1784 ARVIKA	7455		8916	
1785 SÄFFLE	19117		19898	12003
Värmland	104727		116730	
1814 LEKEBERG	10209		10728	
1860 LAXÅ	1275		1450	
1861 HALLSBERG	10175		10795	
1862 DEGERFORS	2594		2834	
1863 HÄLLEFORS	548		781	
1864 LJUSNARSBERG	527		755	

1880 ÖREBRO	37803	39485	
1881 KUMLA	9530	9897	
1882 ASKERSUND	7635	8187	
1883 KARLSKOGA	3547	3834	
1884 NORA	1969	2297	
1885 LINDESBERG	16921	18069	6381
Summa Örebro	102733	109114	
1904 SKINNSKATTEBERG	2563	2877	
1907 SURAHAMMAR	1781	1947	
OBS HEBY i Uppsala			
1960 KUNGSÖR	7913	8157	
1961 HALLSTAHAMMAR	5221	5354	
1962 NORBERG	1484	1762	
1980 VÄSTERÅS	29398	29949	
1981 SALA	27325	27969	
1982 FAGERSTA	992	1135	
1983 KÖPING	15942	16264	
1984 ARBOGA	7280	7562	3077
Summa Västmanland	99899	102976	
2021 VANSBRO	2633	2966	
2023 MALUNG-SÄLEN *	1046	1413	
2026 GAGNEF	2465	2618	
2029 LEKSAND	3321	3813	
2031 RÄTTVIK	2347	2842	
2034 ORSA *	1044	1362	
2039 ÄLVDALEN *	619	938	
2061 SMEDJEBACKEN	2151	2705	
2062 MORA	1766	2399	
2080 FALUN	5576	6591	
2081 BORLÄNGE	6632	7109	
2082 SÄTER	8305	8669	
2083 HEDEMORA	11009	11496	
2084 AVESTA	9083	9643	
2085 LUDVIKA	719	1156	7003
Summa Dalarna	58716	65719	
2101 OCKELBO	3100	3483	
2104 HOFORS	2711	2960	
2121 OVANÅKER	5715	6117	
2132 NORDANSTIG	4997	5861	
2161 LJUSDAL	8171	9069	
2180 GÄVLE	4889	5604	
2181 SANDVIKEN	8533	9429	
2182 SÖDERHAMN	4697	5418	
2183 BOLLNÄS	11434	12187	
2184 HUDIKSVALL	11840	12870	6911

Summa Gävleborg	66087	72998	
2260 ÅNGE *	3522	4184	
2262 TIMRÅ	2358	2841	
2280 HÄRNÖSAND	3265	3937	
2281 SUNDSVALL	9345	11146	
2282 KRAMFORS	7516	8573	
2283 SOLLEFTEÅ *	7118	8786	
2284 ÖRNSKÖLDSVIK	14100	16246	8488
Summa Västernorrland	47224	55712	
2303 RAGUNDA	2804	3292	
2305 BRÄCKE *	1775	2441	
2309 KROKOM *	8342	9561	
2313 STRÖMSUND *	3976	5484	
2321 ÅRE *	4612	5267	
2326 BERG *	5660	6569	
2361 HÄRJEDALEN *	1471	2038	
2380 ÖSTERSUND	10177	11376	7212
Summa Jämtland	38817	46029	
2401 NORDMALING	4090	4538	
2403 BJURHOLM	2398	2785	
2404 VINDELN *	3225	3690	
2409 ROBERTSFORS	9233	9680	
2417 NORSJÖ *	774	1144	
2418 MALÅ *	237	423	
2421 STORUMAN *	719	1227	
2422 SORSELE *	628	864	
2425 DOROTEA *	182	378	
2460 VÄNNÄS	5254	5655	
2462 VILHELMINA *	894	1484	
2463 ÅSELE *	570	921	
2480 UMEÅ	12139	13366	
2481 LYCKSELE *	1387	1828	
2482 SKELLEFTEÅ	25627	28429	9055
Summa Västerbotten	67357	76412	
2505 ARVIDSJAUR *	493	910	
2506 ARJEPLOG *	86	226	
2510 JOKKMOKK *	155	354	
2513 ÖVERKALIX *	955	1294	
2514 KALIX	2851	3516	
2518 ÖVERTORNEÅ *	1929	2412	
2521 PAJALA *	785	1830	
2523 GÄLLIVARE *	103	318	
2560 ÄLVSBYN	2280	2640	
2580 LULEÅ	7252	8604	
2581 PITEÅ	7956	8956	

2582 BODEN *	5270	6161		
2583 HAPARANDA	1818	2389		
2584 KIRUNA *	115	417		7978
Summa Norrbotten	32048	40026		
Total åkerareal 2020, Hektar	2549529	2747422	2747422	197893
Areal åker per kommun 2019 är 2 551 505 hektar.				
Per kommun 2020 är 2 549 529 hektar.				
En minskning med 1 976 hektar = Ca 0,77 promille av arealen				

