

A vertical strip on the left side of the page featuring a bokeh light effect with out-of-focus yellow and orange lights against a dark background.

Snabbväxande trädslag för energi och andra ändamål

Sammanställning av dagens kunskapsläge och framtidens utmaningar

ER 2021:19



Energimyndighetens publikationer kan laddas ner eller
beställas via www.energimyndigheten.se

Statens energimyndighet, juni 2021

ER 2021:19

ISSN 1403-1892

ISBN (pdf) 978-91-7993-015-8

Tryck: Arkitektkopia AB, Bromma

Förord

Snabbväxande lövträd som poppel och hybridasp utgör en potentiell viktig råvarubas för den framväxande biobaserade industrin för produktion av allt från textilier till kemikalier och bränslen. Poppel och hybridasp kan räknas som energigrödor när de etableras på åkermark, vilket ger rätt till stöd för etablering av odlingen. Den korta omloppstiden gör att dessa trädslag relativt snabbt kan öka tillgången på biobaserad råvara. Idag odlas poppel och hybridasp på en begränsad yta (mellan 3 000 till 4 000 ha), företrädesvis i sydligaste delarna av Sverige.

SLU har tillsammans med ett antal parter på uppdrag av Energimyndigheten genomfört en sammanställning av nuvarande kunskapsläget för tre arter av snabbväxande lövträd i Sverige. Sammanställningen omfattar arterna poppel, hybridasp och al (företrädesvis gråal) och visar vilka ytterligare insatser som behövs för att expandera odlingen av dessa till 30 000, 200 000 respektive 700 000 ha.

Resultaten visar att metoder och tekniker för etablering, skötsel och skörd samt plantmaterial finns relativt väl utvecklade för poppel och hybridasp. För al återstår en del arbete på dessa punkter. Kunskapsläget är mer varierat när det kommer till trädens sjukdomar och vedegenskaper samt odlingens påverkan på klimat, biologisk mångfald, med flera hållbarhetsaspekter.

Rapporten har tagits fram av SLU på uppdrag av Energimyndigheten. Analyser, slutsatser och förslag som framförs i rapporten är skribentens egna.

Kalle Svensson

Forskningshandläggare
Energimyndigheten

Rémy Kolessar

Avdelningschef
Energimyndigheten

Innehåll

Inledning och syfte med rapporten	4
Rapportens struktur och författare	5
Kort sammanfattning av kunskapsläget	6
Poppel	6
Hybridasp	7
Al	8
Summering	9
1. Detaljerad översyn av kunskapsstatus och behov i olika delområden	11
1.1 Omvärldsbild och regelverk som påverkar odling av snabbväxande trädslag	11
1.2 Vision och förutsättningar för snabbväxande lövträd	12
1.3 Tillgängliga arealer som passar för odling av snabbväxande lövträd	12
1.4 Beskrivning av tillgängliga marktyper	14
1.5 Introducera snabbväxande lövträd i Sverige	15
1.6 Bedömning av mognadsgraden i rapporten	16
2. Anpassning av odlingssystemet till odlingslokal	18
2.1 Etablering av snabbväxande lövträd	18
2.2 Utformning av odlingssystem för olika ändamål och produktions-kapacitet	26
2.3 Planteringsförband, olika typer av odlingssystem poppel	29
3. Tillgången på klimatanpassat odlingsmaterial	37
3.1 Förädling – nya korsningar	37
3.2 Klontester	39
3.3 Kommersiellt tillgängligt material och plantproduktion	41
4. Teknik för skötsel och skörd	44
4.1 Teknik för etablering och skötsel	44
4.2 Teknik för gallring och skörd	45

5. Sjukdomar, skador och möjliga motåtgärder	48
5.1 Sjukdomar på poppel	48
5.2 Sjukdomar på hybridasp och al	50
5.3 Abiotiska skador	52
6. Klimat- och miljöpåverkan	58
6.1 Systemanalyser och energibalanser	58
6.2 Kolinlagring och andra effekter på mark	59
6.3 Biodiversitetsaspekter på odlingar av snabbväxande lövträd	61
7. Vedegenskaper och användningsområden	64
7.1 Tillväxtrelaterade egenskaper	64
7.2 Fysikaliska, mekaniska och kemiska egenskaper	64
7.3 Användningsområden	65
8. Socioekonomiska aspekter av odlingssystem med snabbväxande trädslag	68
8.1 Odlingsekonomi, förhållande till andra markanvändningar	68
8.2 Markägares perspektiv	69
8.3 Förändringar av landskapsbild med mera snabbväxande lövträd	70
9. Referenslista	72

Inledning och syfte med rapporten

Huvudsyftet med sammanställningen är att ge ett underlag till Energimyndigheten för bedömning av framtida forskningsbehov om odlingssystem med snabbväxande lövträd. Uppdraget innebär en summering av kunskapsläget för snabbväxande lövträd som poppel – *Populus trichocarpa*, *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. maximowiczii*, samt hybrider mellan dessa, hybridasp (*Populus tremula* × *tremuloides*), och al, både gråal (*Alnus incana*) och klibbal (*A. glutinosa*). I den här rapporten har vi främst fokuserat på gråal, eftersom odling av gråal kan bli aktuell över större arealer än klibbal. Gråalen är hårdig och kan växa i kallare klimatlägen i mellersta och norra Sverige, där det idag saknas odlingsmaterial för många andra snabbväxande lövträd. Båda arterna producerar bäst på näringsrika marker med god vattentillgång, men gråalen är mer tolerant mot magrare och torrare marker. Områden där klibbalen förekommer naturligt idag sammanfaller i många fall med höga naturvärden. I sammanställningen lägger vi fokus främst på forskning och utveckling under de senaste 10 åren samt på möjligheten att implementera en storskalig odling av dessa trädslag i Sverige. Dessa snabbväxande lövträd har en hög produktionskapacitet vilket gör att de kan producera stora mängder träråvara för bioenergi och förnybara produkter samtidigt som de bidrar till andra ekosystemtjänster. Idag utnyttjas inte den här potentialen utan planteringsarealen är ganska blygsam. På åker kan hybridasp och poppel planteras och få gårdsstöd men inte al. På skogsmark räknas al som ett inhemskt trädslag utan några planteringsrestriktioner medan poppel och hybridasp räknas som främmande arter och användandet begränsas därför av FSC:s och PEFC:s regelverk. Däremot är de tillåtna för att ersätta annan plantageplantering, som exempelvis enskiktade granplanteringar eller som ersättare för gran i den nemorala zoonen. För att poppel ska kunna öka i värde som råvara i en produktkedja behöver arealen bli större än dagens 3–4 000 ha. Vi föreslår att denna ökning kan ske enligt tre olika arealscenarier: 1) 30 000 ha, 2) 200 000 ha och 3) 700 000 ha. För varje enskilt scenario presenterar vi förslag på, och behov av insatser inom forskning, utveckling och information. För varje forsknings- och utvecklingsområde anges mognadsgrad eller “Technology Readiness Level (TRL)”, vilket är ett mått på kunskapsnivå 2011 och 2020. Utifrån vår analys ger vi förslag på insatser som krävs för att nå önskad mognadsgrad enligt dessa tre scenarier. För att beskriva kunskapsläget har vi involverat spetskompetens inom odlings-systemens alla olika delar; förädling, skötsel, biomassans egenskaper och användning, miljöpåverkan, samt påverkan på landskapsbilden och socio-ekonomiska värden.

Rapportens struktur och författare

Kunskapsrapporten har sammanställts av Henrik Böhlenius (koordinator), Lisa Petersson, Michelle Cleary, Almir Karacic, Elin Anander, Kristina Blennow och Anneli Adler alla anställda vid SLU, Nils Fahlvik, Mateusz Liziniewicz, Skogforsk och Per-Ove Persson, agronom f.N.B.AB.

Kort sammanfattning av kunskapsläget

Poppel

Poppel är ett trädslag som planterats i ganska liten omfattning de senaste 30 åren, men under de senaste 10 åren har intresset för poppel ökat. Orsakerna kan säkert vara många men den höga produktionen tillsammans med bra ekonomi samt en mer varierad skog kan vara några av anledningarna. Den ökade arealen är även ett resultat av att forskningen intensifierats och att kunskapen om hur poppel bör planteras har ökat. Poppel består av flera olika arter, varav *Populus trichocarpa*, *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. maximowiczii* är de arter som planteras mest. Oftast sker det i form av olika hybrider. Idag utgör poppel ett intressant alternativ till att ersätta gran planterad på nedlagt åkermark. På åkermark eller mark som liknar åkermark har vi relativt bra kunskap om hur odlingar skall planteras. Fördelen med poppel mot hybridasp och al är att plantmaterialet kan varieras (20–80 cm långa sticklingar, 1,5–2 m långa pålar, bar- och täckrotsplantor), vilket gör att planteringssteget går förhållandevis enkelt att anpassa till odlingslokalernas förutsättningar. Idag har vi kunskap om hur vissa plantmaterial fungerar på vissa odlingslokaler. Ett hinder för ökade planteringsarealer är att kostnaden är relativt hög. För att poppel ska kunna planteras storskaligt måste plantering kunna ske säkert på skogsmark som varit åker och på vanlig skogsmark. Här har vi viss kunskap om vilka möjliga metoder som måste utvecklas vidare innan rekommendationer kan ges till rådgivare. Fördelen med poppel jämfört med *Salix* är att gallring och skörd kan skötas av maskiner som redan finns inom skogsbruket men utveckling av en automatiserad plantering skulle minska kostnaderna. Förståelse för och hur viltskador skall undvikas är tillsammans med dyra etableringskostnader de två viktigaste flaskhalsarna som måste lösas om poppelodling skall kunna genomföras i stor skala. Till skillnad från hybridaschen så är poppel mindre utsatt för viltbetning men det råder en stor osäkerhet i skillnader mellan kloner och hur skötselmetoder påverkar återväxten efter betningen. Här kommer utveckling av metoder för att identifiera kloner som kan tolerera betning och som betas i mindre utsträckning vara en möjlig framkomlig väg. Utveckling av mekaniska skydd eller behandling med repellenter kan vara möjliga metoder för att minska betningsskador. Poppelns produktion ligger troligen lite högre än för hybridaschen men det finns fortfarande grundläggande kunskapsluckor som behöver fyllas; vilket är det optimala antalet plantor per ha i en plantering, skall odlingen gallras – och om ja, vad blir effekten av det – höjd och diameter tillväxtkurvor, optimal tidpunkt för avverkning, skötselssystem för stubbskottsförnygring, mm. Vi saknar även kunskap om vilken produktionskapacitet poppel har på skogsmark och skogsmark som tidigare varit åker. Detta är forskning som kräver långsiktiga försök och insamling/analys av resultat.

Poppel planteras med kloner antingen som blandningar eller monokulturer. För att en plantering skall bli bra är det av yttersta vikt att förädlingen tar fram nya kloner som är lokal- och klimatanpassade, samt har ett högt industriellt värde genom högt utbyte av slutprodukt. Intresset har varierat över åren så idag finns det inget nationellt förädlingsprogram vilket skulle göra förädlingsarbetet mer effektivt över tid. Utveckling av bättre och mer effektiva metoder för att identifiera de kloner som är anpassade till det nordiska klimatet och har resistens mot betning och sjukdomar kommer att effektivisera förädlingsarbetet.

Generellt anses det att lövträdsodling ger en bättre landskapsbild än täta granplanteringar. Idag har vi en typ av odlingssystem för poppel vilket är väldigt lika eukalyptusplantager med raka rader med likformiga planteringsavstånd. För att landskapsbilden skall förbättras ytterligare bör plantagekonceptet utvecklas vidare för att uppfylla andra värden av odlingen. Vidare är vår kunskap idag mycket begränsad vad gäller ekologiska värden och ekosystemtjänster i odlingssystem med poppel.

Hybridasp

Hybrid Aspen är en korsning mellan europeisk och amerikansk asp och är det trädslaget som har längst historia inom forskning av snabbväxande lövträd. Anledningen till att hybrid Aspen först introducerades var för att användas till produktion av tändstickor. Hybrid Aspens virke lämpar sig för såväl produktion av biomassa som för massaved och timmer. Fördelen med trädslaget är möjligheten till en hög produktion under en relativt kort omloppstid. Hybrid Aspen verkar vara förhållandevis väl anpassad till skogsmarken och uppvisar inte samma etableringssvårigheter på dessa marker som hos poppel. Höga plantkostnader och behovet av hägn gör att etablering av hybrid asp genom plantering är dyrt. Idag har strax under 1 000 hektar tidigare jordbruksmark planterats med hybrid asp. En större satsning på skogsmark gjordes efter stormen Gudrun då bidrag utgick och några hundra hektar planterades med hybrid asp och poppel. Hybrid Aspen planteras som en klonblandning och för södra Sverige finns det plantmaterial tillgängligt men för mellersta och norra delarna av landet är osäkerheten större för det tillgängliga plantmaterialet. Men hybrid Aspens hårdighet gör att den kan planteras i hela landet bara hårdiga kloner tas fram. Idag har vi bra kunskap om hur hybrid Aspen skall planteras på både åker- och skogsmark. Produktionen kulminerar omkring 30 år och ligger på liknande eller lite lägre än för poppel, men vi har inte detaljkunskaper kring detta i dag. Dagens kunskap om produktionen på skogsmark är också ganska svag. Vi saknar även grundläggande modeller för att kunna göra simuleringar av beståndsutveckling och produktion. Preferenser för hybrid asp hos betande djur är hög vilket resulterar i att vi idag inte rekommenderar plantering av hybrid asp utan hägn. Detta är det största hindret för att kunna plantera hybrid asp storskaligt under rådande viltpopulationer. För att lyckas med det behöver det utvecklas innovativa lösningar för att skydda plantorna under etableringsfasen men också under hela omloppsperioden. Hybrid asp kan skötas gallringsfritt, med en eller flera gallringar, men kunskapen om hur olika skötselalternativ påverkar beståndsutvecklingen är endast studerat i begränsad omfattning.

Hybrid Aspens första generation kan skötas med konventionella maskiner utvecklade för drivning enligt kortvirkesmetoden (massaveds- och timmersortiment). I förnygringar uppkomna genom rotskott måste i regel ett mycket stort antal stammar av klen dimension hanteras. Denna typ av bestånd kan lämpa sig väl för produktion av biomassa men det finns behov av teknisk utveckling för att skörda och hantera biomassan i dessa stamrika bestånd. Vi kommer även att behöva utvärdera olika typer av modeller för hur rotskotts-förnygrade ungskogar skall skötas. Stamrika rotskottsuppslag kan eventuellt också vara en modell för att förnygra hybrid Aspen utan hägn.

Eftersom hybrid asp planteras med kloner är förädlingen för att ta fram och testa nya kloner avgörande för om trädslaget skall kunna planteras på stora arealer. Intressen har varierat under åren och det pågår idag inte någon kontinuerlig förädling av trädslaget. Förädlingen av hybrid asp består av två arter vilket begränsar möjligheterna. Snabbare och säkrare identifiering av toleranta och resistent kloner mot sjukdomar kommer att vara viktiga steg i att förbättra förädlingssteget.

Hybridaspén säljs idag som massaved eller tändsticksvirke. Vi har dock begränsad kunskap om hur biomassan passar för framställning av drivmedel som tex etanol och hur biomassaegenskaper förändras med odlingssystem. De ekologiska fördelarna av hybridasp finns det begränsade kunskaper om men det är troligt att arter som finns på vanlig asp också finns på hybridasp.

Al

I Sverige förekommer två alarter naturligt; klibbal och gråal. Klibbalen har sin huvudsakliga utbredning i Götaland och Svealand medan gråalen förekommer allmänt inom de norra och mellersta delarna av Sverige. Båda arterna producerar bäst på näringsrika marker med god vattentillgång men gråal är mer tolerant mot magrare och torrare marker. Klibbalen har förmåga att växa under fuktigare förhållanden än gråalen. Alen har hittills fått begränsat med uppmärksamhet inom svenskt skogsbruk och skogsforskning. För odling med inriktning mot biomassaproduktion har gråalen rönt störst intresse och trädslaget kan vara ett intressant komplement till poppel och hybridasp. Med en naturlig hårdighet för kallare klimat kan gråalen bli aktuell för odling inom de nordligare delarna av landet där dagens poppel och hybridasp inte rekommenderas. Gråalen är dessutom väl anpassad till skogsmark. Trädslaget är snabbväxande med en tidig kulmination av tillväxten. Även om produktionen inte når samma nivåer som för poppel och hybridasp på bördiga marker kan gråalen förväntas vara ett robust alternativ på skogsmark och mer marginella jordbruksmarker. Preferensen för al hos betande vilt klassas som låg till medel. Det kan därför vara möjligt att plantera al utan hägn, vilket inte rekommenderas för många andra lövträd. Alen har förmåga att fixera atmosfäriskt kväve via symbios med Frankia-bakterier i trädets rotnölar. Fixeringen av kväve i rotnölar har visat sig kunna täcka en stor andel av trädets eget behov. Det kan ha betydelse på marker med låg kvävetillgång. Kvävefixeringen kan också ha markförbättrande egenskaper. Gråalen kan producera rikligt med rotskott och kommande generationer kan därför föryngras vegetativt. Klibbalen har god förmåga att skjuta stubbskott. Föryngringsresultatet vid vegetativ föryngring kan därför förväntas vara mindre beroende av förbandet i den föregående generation för gråal jämfört med klibbal. Alvirket är lättbearbetat och behåller en röd nyans efter torkning. Den mörkare nyansen hos virket kan försvåra blekningen av pappersmassan och sätter också en speciell karaktär på den sågade varan. Tillgången och efterfrågan på altimmer av god kvalitet är idag låg.

Förädlingen är en viktig förutsättning för att få fram testade och växtliga odlingsmaterial. Då intresset för al har varit lågt inom skogsbruket under lång tid finns det idag inget aktivt förädlingsprogram. Inledande fälttester har dock indikerat god potential till förbättrad tillväxt genom vidare förädlingsarbete. Det krävs också mer grundläggande forskning om alens etablering och skötsel för att kunna utforma skötselrekommendationer. Al är ett känsligt mot olika *Phytophthora* arter. Därför kommer det att vara viktigt att minimera deras spridning till naturen genom plantskoleverksamheten. En bättre kännedom om gråalens produktionspotential och odlingssäkerhet på olika ståndorter är viktigt för att kunna utvärdera olika odlingsalternativ.

Som ett hårdigt alternativ med en bred ståndortsamplitud kan framför allt gråalen bli ett viktigt komplement till övriga snabbväxande lövträd. Det gäller särskilt i scenarier med en storskalig satsning på biomassa, då även mer marginella marker kan förväntas tas i anspråk.

Summering

I rapporten beskriver vi tre möjliga scenarier där olika arealer snabbväxande lövträd planteras; scenario 1 innefattar 30 000 ha, scenario 2 – 200 000 ha och scenario 3 – 700 000 ha. För att nå de olika scenarierna kommer det att krävas olika insatser inom forskning och utveckling för att lösa de viktigaste problemen.

Viltskador

Gemensamt för alla tre scenarier (scenario 1 – 30 000 ha, scenario 2 – 200 000 ha och scenario 3 – 700 000 ha) är att kunskapen kring om viltskador på poppel och hybridasp (al betas inte) bör förbättras, speciellt för scenario 2 och 3. Det kommer inte vara möjligt att skydda alla planteringar med permanenta stängsel då de är dyra att sätta upp, underhålla och ta ner. Dessutom kommer de att påverka rekreation och viltets möjligheter att vandra fritt. Här måste innovativa och kostnadseffektiva lösningar tas fram för att lösa viltskadeproblemen och kunskap som redogör för skadebilden utan skydd se ut.

Etablering

Kunskapen om etableringen kommer också att vara i fokus för alla scenarier. För scenario 1 finns redan idag bra kunskap om hur alla tre trädslagen skall planteras på åkermark. Här kommer fokus ligga på att minska kostnaderna och skapa en bred verktygslåda som rådgivare skall ha praktisk erfarenhet och kunskap om. För scenario 2 och 3 blir generell etableringskunskap som innefattar alla delar av etableringskedjan viktig. På “naturlig” skogsmark och skogsmark som varit åker blir metoder som förenklar och förbättrar planteringen viktigt. Här blir också kunskap om samspelet mellan etablering och hur man undviker viltskador en mycket viktig del. Involvering av industripartners och rådgivare blir även för scenario 2 och 3 också viktigt.

Produktion

Idag har vi relativt bra kunskap om produktionen för hybridasp men för poppel och al är det sämre. En förbättring av kunskapsläget som tar ett helhetsgrepp om produktionsförutsättningarna och odlingssystemen kommer att vara viktig för att markägare och rådgivare skall kunna förutse de ekonomiska förutsättningarna och klimatnyttan av odlingarna. Detta blir speciellt viktigt om plantering sker på större områden (scenario 2 och 3).

Förädling

Idag har vi ett begränsat planteringsmaterial. För alla scenarier 1, 2, och 3 kommer nya och bättre kloner behövas. Detta innefattar bättre tillväxt och sjukdomsresistens, större genetisk variation, betings resistens/tolerans, specialiserade kloner för olika odlingslokaler, odlingssystem och biomassaegenskaper. En nationell samordning av förädlingen av alla trädslagen skulle stärka kontinuiteten och effektivisera förädlingens alla delar. Utbildning av rådgivare om kloners odlingsbarhet blir även här viktiga delar för att nå alla olika scenarier.

Ekologiska värden

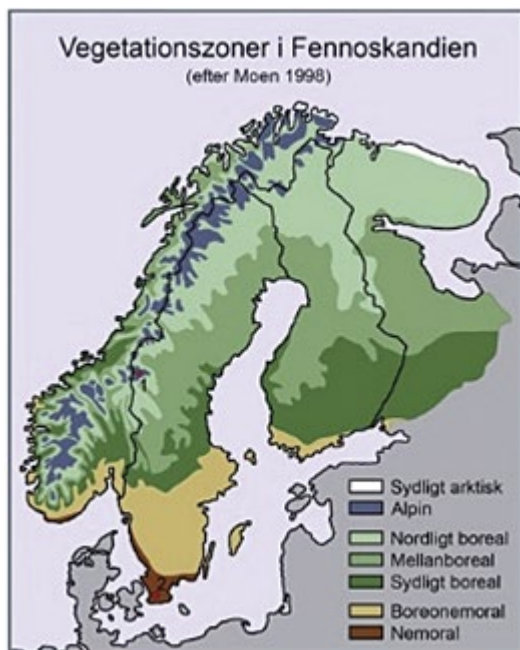
Idag vet vi inte speciellt mycket om hur dessa trädslag påverkar antalet arter eller art-sammansättningen. En bra kunskapsbild om detta blir extra viktigt vid stora planterings-arealer vid t ex scenario 2 och 3.

1. Detaljerad översyn av kunskapsstatus och behov i olika delområden

1.1 Omvärldsbild och regelverk som påverkar odling av snabbväxande trädslag

Odlingssystem med snabbväxande trädslag kan producera stora mängder träråvara för bioenergi och förnybara produkter samtidigt som de bidrar till ekosystemtjänster som ökad kolinlagring och upptag av näringsämnen på jordbruksmark (Regeringskansliet 2020). Vetenskapliga undersökningar pekar på att plantager med snabbväxande poppel och hybridasp på jordbruksmark har trefaldig produktionspotential för biomassa jämfört med traditionella trädslag som tall och gran planterade på skogsmark (Rytter, Ingerslev m.fl. 2016; Subramanian, Bergh m.fl. 2016; Mola-Yudego, Arevalo m.fl. 2017; Fahlvik, Rytter m.fl. 2019). Idag utnyttjas inte den här potentialen. Mellan 2016 och 2019 ökade arealen med poppel och hybridasp på nedlagd jordbruksmark från 2 065 till 2 430 ha (Adler m.fl. 2020). Värt att notera är att under samma period har arealen *Salix* minskat från 9 016 ha till 5 971 ha. Detta kan delvis relateras till låga marknadspriser på träflis vilket sammanträffade med höga priser och hög efterfrågan på lövmassaved, som kan ha motiverat enstaka markägare att investera i poppel- eller hybridaspplanteringar. Arealen med de inhemska alarna (*Alnus incana*, *Alnus glutinosa*) är betydligt större och uppgår till ca 190 000 ha (Skogsdata 2019). Idag sorteras al enbart som annat löv och förbränns för energi. Poppel och hybridasp klassas som främmande trädslag vid odling på skogsmark (se nedan) med inte på jordbruksmark där de klassas som energigröda. Vid odling på åkermark av poppel och hybridasp kan markägaren erhålla investeringsstöd för inköp av plantor, plantering och stängsling. Odlingen är också berättigad för gårdsstöd, men måste då skördas efter maximalt 20 år. Om al odlas på åkermark måste marken omföras till skogsmark och stöden för jordbruksmark förloras. Plantering av främmande trädslag på mark som är registrerad som åker berörs inte av Skogsstyrelsen, FSC eller PEFCs regelsystem.

När poppel och hybridasp odlas på skogsmark räknas de däremot som främmande trädslag och omfattas av FSC och PEFC regelsystem och planteringar över 0,5 ha ska anmälas till Skogsstyrelsen. Al däremot är ett inhemskt trädslag och omfattas därför inte av några regler eller stöd. FSC och PEFC är två certifieringssystem som behandlar främmande trädslag olika. Inom PEFC är andelen främmande trädslag maximerat till 20 % av arealen för skogsägare med 5 000 ha eller mer. Inom FSC gäller max 5 % främmande trädslag om "naturlig" skogsmark planteras. Inom FSC kan främmande trädslag ersätta plantageskogbruk som definieras som likåldrig skog planterat i rader med en eller fåtal arter eller främmande arter. Gamla plantager kan övergå till "naturlig" skogsmark om inväxning av flera trädslag sker och om skogen skiktas. Då klassas den inte längre som plantage. Enligt FSC standarden (2020) definieras dessutom bestånd dominerade av främmande trädslag (hela landet) och granbestånd inom den nemorala zonen (figur 1) som plantage. Det öppnar upp för poppel och hybridasp på stormfällda granåkrar, marker där gran ofta är drabbad av rotröta. Spontan igenvuxen åkermark klassas inte som plantage.



Figur 1. Gränsen för granens naturliga utbredning sträcker sig ner till den Boreonemorala zonen (Moen 1998).

1.2 Vision och förutsättningar för snabbväxande lövträd

Odling av snabbväxande lövträd har potential att generera stora mängder biomassa för olika industriella mål. I dag står vi inför ett vägval för hur kunskapen om dessa odlings-system skall användas för att öka planteringsarealen snabbväxande lövträd. En ökad areal kommer vara positiv för markägarens ekonomi och generera affärsmöjligheter för nya företag och en ökad sysselsättning. För framtidens användning av dessa planteringar är det viktigt att beslutsfattare har ett bra kunskapsläge gällande vilka möjligheter dessa trädslag har för Sverige – påverkan på råvaruförsörjning, klimat, biodiversitet och sociala värden. För att nå storskaliga planteringar med snabbväxande lövträd, kommer det att krävas nationella forsknings- och utvecklingssatsningar vilka bör inkludera alla delarna inom området snabbväxande lövträd gärna tillsammans med industriella partners.

1.3 Tillgängliga arealer som passar för odling av snabbväxande lövträd

Det första steget för att kunna identifiera vilken roll snabbväxande trädslag kan komma att spela i ett framtida produktionssystem, är att identifiera vilka marker som finns tillgängliga. Detta är viktigt, både ur forskningssynpunkt, men också för att ge makthavare, markägare, rådgivare och aktörer inom industrin information om vilken mängd biomassa som kan produceras, och vart den kan ligga. Enligt Jordbruksverkets statistikdatabas fanns det år 2020 totalt ca 2 500 000 ha åkermark och 460 000 ha betesmark. Idag utnyttjas den största delen av jordbruksmarken till matproduktion vilket gör den stora arealen olämpliga för odling av snabbväxande lövträd. Betesmark är troligen inte aktuell för någon plantering eftersom det ofta är mark med höga naturvärden. I åkermarksarealen ingår mark som ligger i träda, och gamla, långliggande vallar. Slutligen finns det bördig skogsmark som lämpar sig för odling.

Utöver de tidigare nämnda marktyperna, finns det öppen mark som av olika skäl inte ingår i Jordbruksverkets statistik. För att hitta dessa arealer används skillnaden mellan Lantmäterimyndighetens fastighetsdatabas och Jordbruksverkets statistik. Ytterligare en begränsning, utgörs av arealer i svåra klimatförhållanden, dvs som ligger utanför växtodlingszonerna 1–6. De är främst i Norrlands inland och fjälltrakter. I sektion 1.3.1 till 1.3.4 redovisar vi de arealer som passar för odling av snabbväxande lövträd och som idag finns tillgängliga.

1.3.1 Åkerarealer som kan vara tillgängliga

Idag ligger ungefär 137 000 ha åkermark i träda. Av den arealen utnyttjas ungefär 53 000 ha som ekologiska fokusarealer (EFA), statistik från 2020, vilket begränsar den tillgängliga arealen för marken ingår i jordbrukens bruksareal. För EFA finns ett omfattande regelsystem som dessutom kan förändras i framtiden. Det finns även 11 000 ha som utgjordes av ospecificerad åkermark. En del av den här marken finns i svåra klimatförhållanden utanför odlingszon 6 och det kärva klimatet gör att det blir svårt att odla snabbväxande lövträd. Totalt finns det 92 000 ha efter att EFA-arealen och 3 500 ha åkermark utanför odlingszon 1–6 dragits bort. Dessutom finns det 159 000 ha gamla, långliggande vallar som sköts med betesputsare (kategori grödkod 49) varav ca 9 900 ha är utanför odlingszonerna 1–6. En del av dessa marker är inte aktuella för aktivt åkerbruk på grund av dålig arrondering. Total ligger summan av möjlig tillgänglig åkerareal på ca 241 000 ha inom odlingszonerna 1–6.

1.3.2 Obeskogad öppen mark

Obeskogad öppen mark, som inte ingår i Jordbruksverkets statistik, men som finns med i Lantmäteriets fastighetsregister, uppgår till 173 000 ha inom odlingszonerna 1–6. Ofta handlar det om mindre fastigheter, exempelvis hästgårdar. Det kan också vara sådana arealer som av olika anledningar inte är registrerade som åker eller bete, och därför ligger utanför EU:s ersättningssystem. På en del av arealerna sker en spontan beskogning via sly och inväxning av träd medan andra av olika skäl hålls öppna. Hanteringsmässigt kan dessa arealer behandlas som åkermark.

1.3.3 Skogsmark som tidigare varit åker

Sedan början av 1900-talet, då arealen åkermark var som störst i Sverige, har ca 1 100 000 ha omvandlats till annan markanvändning (Jordbruksverkets statistikdatabas, Kumm 2021). En del har bebyggts med hus, vägar och andra anläggningar, men den största andelen av det som tidigare var åkermark, är idag bevuxen med skog. Det som brukar benämnas som granåkrar, uppstod framförallt under två perioder av planteringsomgångar, på sextiotalet, och under en period på åttio- till nittiotalet. Totalt finns det idag ca 880 000 ha inom odlingszonerna 1–6. I den siffran ingår också åkermark som övergått till annan användning än skog.

1.3.4 Skogsmark med bra bonitet

I Sverige finns det idag nästan 8,7 miljoner ha skogsmark där boniteten är 5,5 m³ per år eller mer. Av den ytan återfinns ca 8 200 000 ha inom odlingszonerna 1–6. I den nemoral zonen i södra Sverige, finns idag ca 480 000 ha barrdominerad skog, vanligen gran. Från certifieringssynpunkt (FSC), föreligger inga hinder för att byta ut de här granarealerna till

främmande trädslag, eftersom gran räknas som främmande i den nemoreala zonen. En del av dessa arealer befinner sig på sådana marker som tidigare varit åker (1.2.3). Mintutredningen, "Möjligheter till intensivodling av skog" (Larsson 2011) beräknar att det på 15 % av skogsarealen eller 3,5 miljoner ha kan vara möjliga för intensivodling av skog.

1.4 Beskrivning av tillgängliga marktyper

Tillgängliga åkerarealer är framför allt sådan mark som i Jordbruksstatistiken anges som marker i träda eller ospecificerad åkermark. Denna mark omfattar cirka 241 000 ha fördelade i hela Sverige. Detta är mark av bra kvalitet men inte så bördig så att den passar för odling av livsmedel men passar för odling av snabbväxande lövträd. På denna typ av marker är det högt pH, bra dränering, mindre mängd ogräs och lätt att genomföra tillväxt-höjande åtgärder vid plantering. Dessutom är gnagarpopulationen ganska liten. Detta är mark som tillhör aktiva markägare och arealen ingår i nuvarande system. Regelverk och stöd kan vara viktiga instrument för att öka planteringsaktiviteten på dessa marker. Här spelar även rådgivarnas råd om hur och var man planterar en avgörande roll.

Obeskogad öppen mark är mark som inte brukas aktivt ofta grödkod 49 men den liknar "Tillgängliga åkerarealer". Den omfattar totalt cirka 173 000 ha fördelade inom hela Sverige. Ofta består åkermarken av små skiften med dålig arrondering, ibland med sämre bördighet eller delvis starkt lutande terräng. Det gör att produktionskostnaderna per kg livsmedel är höga på den här marktypen, och sett rent företagsekonomiskt, utan att ta hänsyn till olika ekonomiska stöd, skulle stora delar av dessa marginalmarker helst planteras med skog (Nilsson och Rosenqvist, 2019). På denna mark finns det vanligen ett väl etablerat markskikt med vegetation och vilande ogräsfröbank. En population med gnagare finns troligen också på de flesta lokaler. Det finns ett motstånd att plantera igen stora arealer av denna mark efter som det finns en stor andel som troligen är klassade som hästgårdar, marker kring gårdar, torp och sommarstugor. Detta är dessutom marker som ligger utanför dagens ersättningssystem och marken brukas främst inte av ekonomiska skäl. Möjligheten att påverka dessa markägare att plantera igen dessa marker genom stöd och andra åtgärder är därför svårt.

Etablering på skogsmark som tidigare varit åkermark är betes- och åkermarker som planterats med huvudsakligen gran. I dag finns det ca 880 000 ha av denna marktyp och omfattas av miljöcertifieringsregler (FSC och PEFCs). Skogen på denna mark är ofta monokulturer med täta planteringar, planterade i rader och med synliga plogfårar. Planteringen är ofta tät vilket gör att det finns ganska lite vegetation men det kan finnas en vilande fröbank sedan tidigare. Granarna som idag står där är ofta utsatta för rotröta och lokalerna ligger i stormutsatta områden vilket gör att marken inte lämpar sig för återbeskogning med gran eller andra barrträd. Marken är bördig, med relativt högt pH vilket gör att snabbväxande lövträd kommer att trivas. Eftersom det i dag står skog på dessa marker är problemet med beskogning inte problematiskt utan man ersätter barrskog med lövskog. En förändring av markanvändningen från täta granskogar till lövskog kan ses som positivt, speciellt om det finns hus/torp i dess närhet. Regelverk och stöd kan vara viktiga instrument för att öka planteringsaktiviteten på dessa marker. Här spelar även rådgivarnas råd om hur och vart man planterar en avgörande roll.

Skogsmark med bra bonitet är den mark som det finns störst arealer av 3.5 till 8 miljoner ha. Denna mark typ är väldigt varierande med många olika jord typer, sand, morän, grus mm men generellt kan man säga att markerna är stenigare och att jordens pH är lågt,

vanligen mellan ca 4 och 5. Eftersom det i dag står skog på dessa marker är problemet med beskogning inte problematisk utan man ersätter skog med skog. En förändring av markanvändningen från täta granskogar till lövskog kan ses som positivt eftersom lövskog troligen är bättre för andra ekosystem tjänster än barrskog. Marken omfattas av miljöcertifieringsregler (FSC och PEFCs). Här spelar även rådgivarnas råd om hur och var man planterar en avgörande roll.

1.5 Introducera snabbväxande lövträd i Sverige

För att kunna beskriva kunskapsläget och ge en utblick i vilka möjligheter och problem som måste åtgärdas kommer vi beskriva tre olika odlingsscenarier. I de scenarierna kommer tre olika planteringsarealer beskrivas, vilka marker som kan planteras och vilka problem som måste lösas för att kunna uppnå de olika scenarierna. Fördelningen mellan markerna i de olika scenarierna skall inte ses som en faktisk planteringsareal utan som ett exempel för hur fördelningen kan se ut. Vi har gjort detta för att ge en bild av vilka insatser som kommer att krävas för att nå de olika scenarierna.

Scenario 1. En ökning av planteringsarealen från dagens 3 000 ha till 30 000 ha

För att nå detta mål skulle en möjlig fördelning av planteringsarealen vara 25 000 ha av den tillgängliga åkermarken (1.2.1) och 5 000 ha obeskogad öppen mark (1.2.2). Detta bör vara möjligt att genomföra till stor del i Götaland. Rent generellt används produktionssiffran 7 ton TS per ha och år även om det finns försöksresultat både med mindre och högre produktion. Det finns ett bra kunskapsläge för att etablera dessa planteringar men tillgången på plantor kan idag vara begränsad. Därtill behövs mer kunskap om skötselmodeller – gallring, planteringsförband, samt skötsel av andra generationen. Produktionen enligt scenario 1 kan generera ca 210 000 ton TS per år, och planteringsarealerna kommer att vara tillräckligt stora för att ett mindre antal företag och innovatörer skall kunna utveckla och specialisera sig på plantproduktion, plantering, skötsel och användning av biomassan. Alternativt kan biomassan från odlingssystem av snabbväxande lövträd komplettera råvaruströmmar till befintliga skogsindustrier.

Scenario 2. En ökning av planteringsarealen från dagens 3 000 ha till 200 000 ha

För genomförandet av det här scenariot, krävs planteringar på flera olika marktyper. Ett möjligt planteringsscenario skulle kunna vara; 75 000 ha av den tillgängliga åkermarken (1.2.1) och 25 000 ha obeskogad mark, (1.2.2), 75 000 ha skogsmark som varit åker (1.2.3) och 25 000 ha skogsmark (1.2.4) planteras. För att uppnå målet för scenario 2, kommer det att krävas plantering av alla tre trädslagen och på arealer i både Götaland och Svealand. En viktig faktor för att nå scenario 2 är att nystartade entreprenörer kommer att driva på utvecklingen vidare. Utbildning av rådgivare och kunskapsöverföring mellan forskning och användare är också nyckelfaktorer. Det krävs också en ökning av tillgången av plantor till de olika markerna. Samarbetsprojekt med plant-skolor är här ett viktigt moment. För att nå 200 000 ha fram till 2030 kommer det att behövas bättre kunskapsunderlag för etablering av alla tre trädslagen vid olika odlingsförhållanden. Vid denna planteringsareal kommer vi även att behöva veta effekten av de ekologiska aspekterna på respektive trädslag. Produktionen kan komma generera 1 400 000 ton TS årligen och planteringsarealerna kommer att vara tillräckligt stora för att ett större företag skall kunna specialisera sig på plantproduktion, plantering, skötsel och flera olika industrier kan använda sig av biomassan.

Scenario 3. Ökning av planteringsarealen från dagens 3 000 ha till 700 000 ha

Detta scenario kommer att kräva ytterligare ökning av antalet marktyper än scenario 2. Ett möjligt scenario skulle kunna vara 75 000 ha av den tillgängliga åkermarken (2.1) och 50 000 ha obeskogad mark, (2.2), 400 000 ha skogsmark som varit åker (2.3) och 175 000 ha skogsmark (2.4) planteras. Scenario 3 fulla kunskapsnivå är svårt att nå fram till 2030 men fullt möjligt innan 2045. Vissa metoder (speciellt för skogsmark) kommer att kräva långsiktiga studier, för att säkerställa resultaten. Utöver arealerna i Sverige finns en möjlighet att plantera i andra länder tex Baltikum, där ytterligare 300 000 ha kan vara möjligt. Totalt skulle detta leda till 1 miljon ha snabbväxande lövträd. För att nå detta mål måste flera aspekter tas med i beräkningen; 1. Alla tre trädslagen används för att maximera flexibiliteten i odlingssystemen kopplat till odlingsförutsättningarna, 2. ökad kunskap om etableringsmetodiken (kan nås innan 2030) 3. kunskapen överförs till markägare och rådgivare, 4. Det måste också ske ett skifte i synen på dessa trädslag av myndigheter, beslutsfattare och allmänheten. 5. regelverk och styrmedel måste förklaras och förbättras för dessa trädslag. Produktionen kommer generera ca 5 miljoner ton TS per år. Planteringsarealerna kommer att vara tillräckligt stora för att många större företag skall kunna specialisera sig på plantproduktion, plantering, skötsel och flera olika större industrier kan använda sig av biomassan.

1.6 Bedömning av mognadsgraden i rapporten

Technology Readiness Level (TRL) är en beteckning, som innebär en sammanvägning av teknikens mognadsgrad och tillhörande risk. TRL används ofta för att kvantifiera hur långt forskning och utveckling (F&U) kommit inom ett specifikt område. Syftet med TRL-skalan är att sammanfatta komplexa resonemang och därigenom underlätta planering och beslutsfattning. I den här rapporten använder vi samma TRL-skala som används av Energimyndigheten och finns beskriven i figur 2. För varje F&U kommer vi att använda oss av samma metod med TRL-numreringen för att visa vilken nivå av mognadsgrad som odlingssystemet befinner sig på. Vi kommer att redovisa de olika trädslagen separat, men tillsammans i TRL-tabellen, för att underlätta jämförelser. Analysen bygger på en uppskattning av hur utvecklingen har sett ut inom respektive område, perioden 2011–2020. Förslag på åtgärder som presenteras, är utformade med ambitionen att nå den högsta nivån på TRL skalan innan 2030 om inte annat nämns innan.

Technology Readiness Level

Fas	TRL	Er nivå (x)	Kännetecken för uppnådd nivå	Exempel på den mognadsnivå som ska uppnås
Införande	9	☐	Produkten används med framgång	Produkten har visat sig fungera i verklig användning.
Experimentell utveckling	8	☐	Färdigutvecklat system är verifierat	Tekniken har nått sin slutliga form och dess funktion har verifierats i förväntade driftsförhållanden. Test- och demonstrationsfasen har avslutats.
	7	☐	Demonstration av prototyp i driftsmiljö	Funktion hos prototyp har verifierats vid test och demonstration i verklig driftsmiljö. Överlämning till produktutveckling.
	6	☐	Demonstration av modell eller prototyp i simulerad miljö	Modell eller prototyp av systemet har testats och demonstrerats under verklighetsliknande förhållanden.
	5	☐	Validering av komponent/del-system i simulerad miljö	Komponenter eller delsystem har testats under verklighetsliknande förhållanden. Systemets livskraft är verifierad.
Industriell forskning	4	☐	Teknisk validering i laboratoriemiljö	Komponenter eller delsystem har testats i labbmiljö. Konceptets relation till andra system har bestämts.
	3	☐	Experimentella bevis på konceptets potential finns	Analytiska eller experimentella studier har genomförts. Karakteristiska drag hos tekniken är kända.
	2	☐	Teknikkoncept formulerade	Möjliga applikationer har identifierats. Grundläggande principer studeras. Förfinad beräkning av prestanda.
Grundforskning	1	☐	Grundläggande principer observerade	Vetenskapliga resultat finns som tyder på en möjlig praktisk tillämpning. Prestanda kan uppskattas.
Motivera er nivå				

Figur 2. Figuren visar tabellen över TRL skalan i rapporten för att beskriva mognadsgrad för odlingssystemet snabbväxande lövträd.

2. Anpassning av odlingssystemet till odlingslokal

2.1 Etablering av snabbväxande lövträd

En framgångsrik etablering är en av nyckelfaktorerna för att nå maximal produktionskapacitet under en omloppsperiod för de flesta trädslag inklusive poppel, hybridasp och al. Misslyckas man i detta steg är det svårt och kostsamt att åtgärda en misslyckad plantering. Det är även här man kan planera för hur odlingssystemet skall se ut (antal stammar, fördelning över planteringsytan mm).

Förenklat går det att säga att etablering av poppel, hybridasp och al kan göras på följande fyra kategorier av markområden.

- Tillgängliga åkerarealer
- Obeskogad öppen mark
- Skogsmark som tidigare varit åker
- Skogsmark med hög bonitet

I den här rapporten har vi uteslutit sådan åkermark som idag och i framtiden kan tänkas användas för produktion av livsmedel. Vissa marker är förknippade med lång tradition av odling, vilket gör att incitamentet från en markägares perspektiv, att plantera igen marken, kan vara ganska låg. Betesmarker har ofta höga naturvärden vilket gör dem olämpliga att plantera igen med sådana planteringssystem vi har idag.

Markförhållandena skiljer sig mellan de här fyra markkategorierna och påverkar förutsättningar för plantering. Det finns också stora skillnader i tillgänglig areal, vilket leder till att de kommer att planteras i olika scenarier. Nedan redovisar vi den forskning som är genomförd eller uppstartad för de olika marktyperna. Vi kommer även identifiera vilka problem som återstår att lösa för att kunna uppnå de olika scenarierna. I en slutlig tabell ger vi förslag på insatser som behövs för att öka mognadsgraden, när det gäller utvecklingen på TRL-skalan.

2.1.1 Etablering på åkermarker som är tillgängliga

Kunskapsläge för poppel

Under åren 2011 till 2020 genomfördes flera projekt, vars syfte var att undersöka metoder för plantering av poppel på åkermark. Forskningen fokuserade dels på olika typer av planteringsmaterial, men också på olika metoder och intensitet av ogräskontroll. Resultaten är entydiga och visar att det är viktigt att noggrant kontrollera konkurrerande markvegetation under det första året. Detta kan göras, antingen genom mekanisk ogrärensning mellan planteringsraderna, eller med hjälp av olika typer av marktäckning av väv eller plast (Böhlenius m.fl. 2015a och Böhlenius m.fl. 2015b). Försöksresultaten tyder på att täckning ökar tillväxten mer jämfört med mekanisk rensning, och att den bör sträcka sig i en radie om ca 1 meter runt plantan för bästa effekt (Böhlenius m.fl. 2015a). Marktäckning är en metod som både minskar behovet av återkommande meka-

nisk ogräsrensning i en nyetablerad odling, samtidigt som det möjliggör en snabb etablering av odlingen. Tack vare flera exkursioner, workshops och anlagda demonstrationsytor tillämpas denna metod idag i kommersiella odlingar.

Poppel kan planteras genom flera olika typer av planteringsmaterial, såsom barrots- och täckrotsplantor (från rotade sticklingar), sticklingar av olika längder och långa ett- eller tvååriga pålar. Under perioden 2011 till 2020 har etableringen med olika plantmaterial studerats i flera projekt (Böhlenius m.fl. 2016, Mc Carthy m.fl. 2016). Den samlade bilden är att på åkermark, är valet av planteringsmaterial inte det som främst är avgörande för ett lyckat resultat. Oavsett om stickling, barrot eller täckrot planteras, växer plantorna lika fort under de första åren, under förutsättning att ogräset kontrolleras noggrant (Böhlenius m.fl. 2015b). Både täckrotsplantor och sticklingar är beroende av en effektiv ogräskontroll eller marktäckning (Böhlenius m.fl. 2015b). Vid bristfällig ogräskontroll har korta sticklingar sämst överlevnad, medan andra typer av planteringsmaterial fungerar lika dåligt. Användandet av långa pålar fungerar också väl, men på steniga marker är det troligen svårare att plantera dessa. Misslyckas detta, är det risk att de inte överlever (Böhlenius m.fl. 2019 opublicerade resultat). Tvååriga pålar är i jämförelse mer robusta, och har även visat sig kunna fungera väl på relativt steniga marker. Plantering av pålar sker mekaniserat och praktiseras redan framgångsrikt vid etablering av poppelodlingar i Litauen. Initialt ger ett grövre planteringsmaterial generellt en bättre tillväxt, men skillnaderna tycks klinga av med tiden (Böhlenius 2020 opublicerade resultat).

Kunskapsläge för hybridasp

Täckrotsplantor är den planttyp som hybridasp planteras med idag. Vid etablering av hybridasp på åkermark gäller i stort samma råd som för poppel, när det gäller bearbetning av marken. Under senare år har det inte genomförts några nya studier som behandlar plantering av hybridasp på åkermark. Plantering fungerar idag på de flesta marker om den föregås av en noggrann beredning av marken. Ett av de största hoten mot planteringar av hybridasp är bete från klövvilt.

Kunskapsläge för al

Det finns begränsat med forskning om plantering av al och metoder för hur planteringen bör utföras med avseende på plantmaterial, planttyp och markberedning. En aspekt som har studerats för al är huruvida plantor bör inokuleras med Frankia-bakterier före plantering, i syfte att initiera den naturligt förekommande symbiosen med kvävefixerande bakterier i trädens rotnölar (Hendrickson m.fl. 1993). Symbiosen uppstår dock ofta spontant eftersom Frankia-bakterier förekommer naturligt på de flesta marker (Huss-Danell & Frey 1986). Då det normalt kan förekomma rikligt med vegetation på ståndorter som lämpar sig för odling av al rekommenderas markberedning (Rytter m.fl. 2014).

Utmaningar för framtiden 2030 scenario 1, 2 och 3

Plantering på åkermarker kommer att vara startpunkten för alla tre scenarier och utgör alltså den första arealen som kommer att kunna producera biomassa 2045. Idag har vi generellt ett fungerande system för att plantera poppel, hybridasp och al på dessa marker. Samtidigt saknas vissa delar för att dessa odlingssystem skall kunna fungera fullt ut. Exempelvis saknas kunskap om interaktioner mellan odlingslokal, marktäckning,

tekniker för ogräskontroll och hur olika plantmaterial fungerar i de olika klimatzonerna. Plantering av en enklare planta, stickling, måste också utvecklas för att minska kostnaderna vid etablering. Plantproduktionen behöver också öka eftersom mängden planter inte räcker till idag för alla som vill plantera. Här har en stickling en fördel eftersom den inte behöver odlas i förväg utan kan sköras direkt från sticklingshäckar. En ökad plantproduktion går enkelt att integrera i redan befintliga system. Dock kommer det att behövas kunskap och teknikutveckling för att möjliggöra den kraftiga uppskalningen av plantproduktionen till scenario 2 och 3. Kunskapsläget för hur de olika trädslagen ska planteras, och speciellt för poppel, är ganska dåligt hos dagens rådgivare, vilket måste åtgärdas i alla föreslagna scenarier. För att nå scenario 1 är det troligen poppel och hybridasp som kommer att planteras huvudsakligen. För att nå scenario 2 och 3 kommer alla trädslagen att behöva ingå och här kommer odlingssystemen att behöva utvecklas ytterligare för att kunna plantera rätt trädart på rätt typ av marker.

Etablering på mark som nyligen brukats	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	6	8	– Utveckla metoder för att etablera utan hägn (1,2,3). – Utökad plantskoleverksamhet för produktion av alla typer av plantor (1,2,3). – Utbildning av rådgivare (1,2,3). – Ökad kunskap om hur olika plant-typer fungerar i olika markförhållanden (1,2,3). – Implementering av tidigare kunskap om ogräskontroll (1,2,3). – Etableringskostnaderna måste minskas genom utveckling av plantering teknik och kunskap om hur olika plant typer fungerar (1,2,3). – Etablering av demonstrationsytor som visar hur olika etableringsmetoder fungerar (1,2,3). – Öka förståelsen hur förändringar kommer att påverka valet av etableringsmetoder (1,2,3). – Utveckla produktion och planteringsteknik för poppel-sticklingar, små och storskaligt (1,2,3). – Utveckla sticklingsmaterial från kvistar (1,2,3). – Utveckla mekaniska plantskydd (1,2,3). – Undersöka hur plantskydd tex TRICO / blodmjöl fungerar vid etableringssteget (1,2,3). – Öka tillgängligt plantmaterial för både södra och norra Sverige (1,2,3).
Hybridasp	7	8(9)	– Utveckla metoder för att etablera utan hägn (1,2,3). – Undersöka alternativ till meristemförökning (2,3). – Undersöka hur ungsbogen kan skyddas, ev. utnyttja rotskottsuppslag (2,3). – Öka tillgängligt plantmaterial för både södra och norra Sverige (2,3).
Al	4	4	– Det behövs fler försök på olika marktyper för att kunna dra slutsatser om lämpliga förökningsmetoder (3). – Behov av ett långsiktigt förökningsprogram för att få fram plantmaterial anpassat till olika miljöer samt behov av lämplig förökningsmaterial (3). – Utvärdering av de bästa förökningsmetoderna som garanterar en tillfredställande biomassaproduktion (3). – Försöksodling med praktiska planteringsförband från 1 100 till 1 600 plantor/ha samt produktion, omloppstid (3). – Öka tillgängligt plantmaterial för både södra och norra Sverige (3).

2.1.2 Etablering på obeskogad öppen mark

Genomförd forskning och praktiska erfarenheter för poppel, al och hybridasp. Detta är en heterogen markkategori, vilket gör att etableringsproblematiken kan variera beroende på specifika mark- och klimatförhållanden. På vissa marker (åkermark som ligger i träda) kan samma metoder tillämpas som för "åkermark som nyligen brukats". Här har vi kunskap att börja plantera poppel och hybridasp i större skala. En del marginalmarker finner vi på sandjordar och styv lera och här är metoderna för poppeletablering mer osäkra, och fler studier behövs. Resultaten från (Böhlenius 2016b) visar att för sticklingar planterade i sandjord startar tillväxten snabbare än för sticklingar planterade i lera och efter en tillväxtperiod når de samma höjd.

På organogena jordar kan det vara svårt att lyckas med poppeletablering. Preliminära resultat och erfarenheter från praktiska odlingar tyder på att djupa organogena jordar utan mineralskikt eller med mineralskikt djupare än 50 cm är mycket svåra att lyckas med (Karacic & Adler, preliminära resultat). Dessa lokaler är vanligtvis lågt placerade (ökade chanser av vår/hösfrost), en svårkontrollerad och livskraftig ogräsvegetation, hög grundvattennivå och höga sorkpopulationer vilket gör att de flesta trädslag inklusive poppel är svåra att lyckas med.

Hybridasp

Samma villkor gäller för hybridasp som för poppel vad avser behovet av markberedning och risken för frostsador. Markberedning behövs för att minska konkurrensen från vegetation och för att minska risken för skador av gnagare.

Al

Även alen kan få problem vid riklig markvegetation och plantering bör föregås av markberedning. Gråalen anses relativt frosttålig men växer dåligt i fuktiga, syrefattiga miljöer med stillastående vatten (Rytter 1996). Klibbalen har förmåga att växa under fuktigare förhållanden än gråalen.

Utmaningar för framtiden 2030

Etablering av snabbväxande lövträd på marker, som varit i långvarig träda, kan lyckas med i princip samma metoder som på brukad åkermark men med något mer intensiv ogräskontroll. På denna typ av marginalmarker är kunskapen relativt tillfredställande och vi kan använda oss av kunskapen som passar för brukad åkermark 2.1.1. Det finns dock ett behov från användarna att öka antalet verktyg i verktygslådan för att öka flexibiliteten och minska kostnaderna vid plantering genom att använda billigare plantmaterial och mindre intensiva markbearbetningar.

I samband med etablering av större arealer (scenario 2 och 3) ställs odlaren inför utmaningar som berör hela kunskapsregistret när det gäller poppelodling. Eftersom obeskogad åkermark är en heterogen marktyp finns det i dag inga specifika rekommendationer för en viss typ av marginalmark utan resultatläget kan beskriva problematiken och vad som skall uppnås men inte hur en åtgärd skall genomföras för att uppnå ett bra resultat. Utmaning för att nå scenario 2 och 3 blir att ta fram mer generell kunskap som kan appliceras på så stor areal som möjligt och ge tydliga rekommendationer för hur etablering skall ske. Det är troligen svårt att kunna ge generella rekommendationer som passar alla marginalmarker men råd som beskriver vilka parametrar som bör beaktas bör kunna beskrivas innan 2030.

Ofta är ett misslyckande ett resultat av olika delar som lågt pH, för mycket vegetation, frostsatta lokaler, vattensjuka marker och näringsobalans vilket leder till förändrade invintringsrespons och frostsador, låg tillväxt och som sedan leder till betesskador, sorkangrepp mm. Sedan är det alla delarna som tillsammans resulterar i en misslyckad plantering. Utmaningen på dessa marker kommer att vara hur man skiljer på vad som är den primära orsaken till misslyckandet från den sekundära. Detta gör att vi kan hitta olika lösningar för de olika problemen kopplade till alla typer av marginalmarker. En möjlig väg är att skapa ett nätverk med pilot-/demonstrationsodlingar som visar på hur olika tekniker vid etablering fungerar samt skapa en samverkansplattform för utbyte av information, resultat och erfarenheter. Här är utbildning av rådgivare som får kunskap om hela registret av poppeletablering en nyckelfaktor.

På vissa typer av marginalmark på organogena jordar, som har skiftande och besvärliga förhållanden kan det bli svårt att någonsin nå högsta nivån på TRL-skalan. Plantering på dessa marker kommer troligen att även i framtiden innebära en förhöjd risk för misslyckande i etableringsfasen. På dessa marker kan det vara så svårt att odla (även om kunskapsläget säger att det går) att en eventuell konvertering till snabbväxande skog behöver övervägas nog.

Etablering på träda och marginalmarker	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	2–4	7	– Utveckla metoder för att etablera utan hägn (1,2,3). – Starta ett större antal demonstrationsytor som visar hur poppelodling skall etableras (1,2,3). – Utbilda dagens och framtidens rådgivare (1,2,3). – Undersöka och utveckla hur olika metoder och plantmaterial fungerar på olika marker (2,3). – Mekanisera markberedning och plantering (2,3). – Skapa ett nationellt och internationellt nätverk för etablering på liknande marker (2,3). – Öka flexibiliteten vid plantering utan att minska säkerheten (1,2,3). – Skapa ett nationellt nätverk mellan praktiken och akademien för frågor som rör etableringsfrågor. (1,2,3).
Hybridasp	4	7	– Samma som för poppel (1,2,3).
Al	3	3	– Behov av generellt ökad kunskap om plantering av gråal på alla typer av marker (2,3). – Hur ska man föröka plantor. – Öka kunskapen om odlingsmaterial kopplat till ståndort (2,3).

2.1.3 Etablering på skogsmark som tidigare varit åkermark

Poppel

Studier av poppeletablering på skogsmark som tidigare varit åkermark, så kallade granåkrar, har hittills varit sparsamma. I dag finns det bara en publicerad studie som undersöker dessa marktyper (Mc Carthy 2016). Resultaten visar att det är möjligt att lyckas med plantering på dessa marker, men att överlevnaden och tillväxten kan skilja sig mellan lokaler, planttyper och markbehandlingar. En faktor som i studien skiljde sig mellan lokalerna, var markens pH, där lokaler med mark-pH > 5 resulterade i bättre tillväxt (Mc Carthy m.fl., 2016). Det finns även vissa indikationer på att plantering med

täckrotsplantor kan vara ett säkrare alternativ men att i vissa fall kan 50 cm långa sticklingar fungera väl (Mc Carthy 2016). Detta är i linje med andra studier på skogsmark (Böhlenius m.fl., 2016) där täckrotsplantor visade sig vara det bästa valet (analyserade planttyper är stickling, täckrot och bar rot). Idag finns ett antal nyetablerade försök på skogsmark i Götaland och där tyder preliminära resultat på att poppel kan planteras med vanliga planteringsmetoder så som markberedning och plantering med täckrotsplantor (Böhlenius 2020 m.fl. preliminära resultat). Under 2020 planterades tre nya försökslokaler, och under 2021 kommer ytterligare två lokaler att planteras, där poppel ingår (finansierat av Energimyndigheten). Planteringarna ingår i ett större trädslagsförsök, där syftet är att undersöka vilka trädslag som växer bäst på den här typen av marker. Eftersom tidigare studier har visat att mark-pH är en viktig faktor för poppelns överlevnad och tillväxt, kommer poppelplantor planteras med eller utan tillförsel av kalk, aska och bio-kol. Utöver de tidigare nämnda försöken i Götaland, så finns det i Uppland exempel på kommersiella planteringar på liknande marker.

Den hittills begränsade forskningen om poppel på skogsmark som tidigare varit åker, gör att det i dagsläget är svårt att ge generella råd för att lyckas med plantering av poppel på dessa marker. Däremot är det fullt möjligt att nå ett tillräckligt bra kunskapsläge innan 2030 för plantering på stora arealer.

Hybridasp

Opublicerade resultat från trädslagsförsök (finansierats av Energimyndigheten 2012 och 2020) och praktiska planteringar, tyder på att hybridasp kan planteras på skogsmark som tidigare varit åkermark.

Al

Gråal är väl anpassad till skogsmarksförhållanden och verkar klara av att växa på marker med lägre pH (Ericsson & Lindsjö 1981).

Utmaningar för framtiden 2030 – scenario 2,3; poppel

För att nå arealmålet i scenario 1 kommer även en del granåkrar att behöva planteras, om än i liten skala. Det finns dock ett starkt intresse från skogsägare att kunna plantera poppel på dessa marker, vilket gör att marken lämpar sig för att kunna öka planteringsarealen ytterligare vid scenario 2 och 3, (200 000 till 700 000 ha). Om scenario 2 och 3 skall genomföras behövs en stor verktygslåda med många olika verktyg, vilka alla bidrar till att vi kan plantera de flesta av dessa marker med poppel. Kunskapen om vilket plantmaterial, kloner och markberedningsmetoder som passar till givna klimat och lokala förutsättningar behöver kraftigt förbättras. Vi behöver även ha förståelse för vilka lokaler som kan planteras med traditionella metoder och vilka lokalegenskaper som kräver andra åtgärder, tex pH höjande åtgärder som kalkning och hur de skall genomföras för att lyckas med etableringen. Många forskningsprojekt bör göras i nära samarbete med rådgivare, markägare för att gradvis lyfta kunskapsnivån – vilket direkt kommer öka planteringsarealen under pågående forskningsprojekt.

Etablering på avverkade granåkrar och liknande skogsbestånd på tidigare nedlagd jordbruksmark	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parantes
Poppel	4	6	– Utveckla metoder för att etablera utan hägn (1,2,3). – Öka kunskapen om vilka metoder som minskar vegetationen mer effektivt (2,3). – Utvärdera tidigare anlagda experiment och planteringar på granåkrar (2,3). – Studera vilka kloner som passar på dessa marker genom anläggning av nya försök samt utvärdera tidigare försök (2,3). – Utveckla metoder för att förenkla urvalet av lämpliga marker (2,3). – Öka förståelse för vilka marker som kan planteras med vanliga metoder och vilka marker som inte kan planteras med vanliga metoder (2,3). – Utveckla tekniken för hur kalk och aska bör tillföras (1,2,3). – Öka kunskapen om hur planteringstidpunkten påverkar tillväxten, och hur effekten skiljer sig för olika marker (2,3). – Öka samverkan mellan akademi och användare för att sprida kunskapen vidare (2,3). – Utbilda framtidens rådgivare (2,3).
Hybridasp	5	6	– Utveckla metoder för att etablera utan hägn (1,2,3). – Öka kunskapen om vilka markbehandlingsmetoder som passar de lokala förutsättningarna vid en given lokal (2,3). – Utveckla metoder för att minska den konkurrerande vegetationen vid plantering och undersök hur plantans tillväxt och vitalitet påverkas av respektive metod (2,3).
Al	3	3	– Öka kunskapen om markbehandlingsmetoder (3). – Öka kunskapen om planttyp och lämpliga odlingsmaterial för olika miljöer (3).

2.1.4 Etablering på skogsmark, skogsmark med lågt pH

Poppel

Det finns ett flertal projekt som studerat etablering av poppel på skogsmark. Under perioden 2010 till 2020 har det varit ett problemfyllt forskningsområde. Det är under de senaste åren som vi identifierat orsaken till svårigheten att lyckas med etablering av poppel på skogsmark. Detta gör att vi nu kan hitta vägar för att lyckas med poppelodling på skogsmark. I jämförelse med åkermark, är skogsmarken ofta en mer heterogen marktyp med olikheter i bördighet och markförhållanden tex när det kommer till variation i fuktighet. När det kommer till jordarter, går det att hitta allt från steniga till sandiga och mer fina sedimentmarker. En annan viktig skillnad är att skogsmarken ofta har betydligt lägre pH än åkermarken.

Vid plantering av ett nationellt trädslagsförsök (Böhlenius m.fl. 2020 preliminära resultat), visar de preliminära resultaten indikationer på att det finns skillnader i framgången vid etablering av poppel mellan norra och södra Sverige. Dessutom tyder resultaten på att poppeln är svår att lyckas med på skogsmark med vanliga metoder som markberedning plantering med barrotsplanter. De preliminära resultaten är också i linje med tidigare observationer i samband med planteringar på skogsmark efter stormen Gudrun.

I en annan studie (Böhlenius m.fl. 2015) visade det sig att täckrotsplantor växer bättre än både sticklingar och barrotsplantor vilket betyder att vi idag har svårt att hitta plantor för plantering på skogsmark. Eftersom barrotsplantor är den planttyp som vanligen planteras, kan detta vara en förklaring till varför tidigare försök misslyckats. Flera internationella studier har visat att lågt pH påverkar tillväxten negativt och två publikationer (Hjelm och Rytter 2016 och Böhlenius 2017) visade att detta stämmer även för svenska jordar. Det har dock visat sig att det inte är det låga pH-värdet som är orsaken till svårigheterna med att etablera poppel på skogsmarker (Böhlenius m.fl. 2016), utan att ett lågt pH frigör ämnen som i sin tur leder till minskad tillväxt och överlevnad. Framförallt leder ett lågt pH till att en ökad mängd aluminium (Al) frigörs i marken. Al kan vara toxiskt för plantor, och det finns en stor genetisk variation när det gäller förmågan att tolerera Al både mellan olika arter och mellan kloner inom en och samma art. Resultaten visar också att det är skillnader i tolerans mot Al mellan poppel och hybridasp, vilket alltså skulle kunna förklara skillnaden i framgång vid etablering av dessa två trädslag (Böhlenius m.fl. 2018). Idag har vi utvecklat en metod som gör det möjligt att identifiera olika poppelkloners Al-tolerans, och detta kan användas för att hitta kloner som är bäst lämpade för odling på skogsmark (Arlauskas 2020).

En annan möjlighet för att lyckas med poppel på skogsmark är att höja markens pH med kalk och aska. Resultaten är tydliga, för att lyckas med poppel på skogsmark behövs idag tillförsel av kalk eller aska som höjer markens pH (Böhlenius 2020 och preliminära resultat). Vi vet dock inte hur kalken/askan skall tillföras. I ett pågående projekt (finansierat av Energimyndigheten) kommer det att utvecklas metoder för hur kalk och aska kan tillföras vid plantering.

Hybridasp

Resultat från trädslagsförsöksplanteringar visar på att hybridaschen kan planteras på skogsmark med vanliga markberedningsmetoder och kommersiella plantor och att den kan planteras i hela Sverige (Böhlenius m.fl. 2020 opublicerade resultat). En jämförelse av olika markberedningsmetoder på skogsmark visade på en högre tillväxt hos plantorna efter högläggning jämfört med fläck- och inversmarkberedning (Mc Carthy m.fl. 2016).

Al

Al är ett inhemskt trädslag som är väl anpassad till skogsmark. Det finns idag få studier som har undersökt hur olika föryngringsmetoder och markbehandlingsalternativ påverkar etableringen av gråal. Markberedning rekommenderas för att minska konkurrensen från vegetation. Gråalen har en riklig fröproduktion och sådd kan därför vara ett alternativ till plantering (Rytter 1996). Gråalen har lätt för att etablera sig på bar mineraljord, men då fröna är små och har begränsat med lagrade resurser anses de vara känslig för konkurrerande vegetation och humus (Rytter 1996).

Utmaningar för framtiden 2030 – scenario 2,3

I scenario 2 och 3 kommer skogsmarken att spela en stor roll för att kunna bidra med biomassa. För att arealen skall kunna planteras med poppel behövs utveckling av planteringsmetodik, plantproduktion och förädling till kloner som är anpassade till att kunna växa på skogsmark. Utveckling av metoder som kontrollerar konkurrerande vegetation på ett effektivt sätt samtidigt som markstörningen minimeras behöver också studeras. Resultaten tyder också på att en höjning av markens pH är ett viktigt steg

vid plantering, men metoden måste förfinas så att det passar fler områden för att vi skall kunna rekommendera hur och om det behövs. Spridning av kalk/aska på hela planteringsytan kan göras med befintliga metoder/maskinpark men förändring av markens pH är en långsam process och därför måste effekten på tillväxten studeras både kort och långsiktigt. En vidare utveckling av teknik för tillförsel vid planteringsstillfället måste också vidareutvecklas. Som ett led i att stärka våra positioner inom detta fält och öka vår forskningsbredd kommer det att startas ett utbyte mellan världsledande förädlingsforskare inom poppelförädling i Kanada och SLU i Alnarp.

Etablering på skogsmark	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	2	5	– Utveckla metoder för att etablera utan hägn (1,2,3). – Analysera hur kalk, aska och biokol skall tillföras vid plantering (1,2,3). – Studera kort och långsiktiga tillväxteffekter vid tillförsel av kalk, aska vid etablering (1,2,3). – Identifiera kloner som kan växa på skogsmark utan tillförsel av kalk eller aska (1,2,3). – Studera hur olika plantmaterial fungerar i kombination med kalkning och askåterföring (1,2,3). – Identifiera hur olika skötselmetoder kan skapa förutsättningar för återhämtning efter betning (1,2,3). – Utveckla storskalig plantproduktion som är anpassade till skogsmark (1,2,3).
Hybridasp	4	8	– Utveckla ett skyddssystem som skyddar plantor från betesskador (1,2,3). – Identifiera vilken teknik för markbehandling som leder till högst tillväxt (2,3).
Al	2	2	– Öka kunskapen om markbehandlingsmetoder (2,3). – Öka kunskapen om planttyp och lämpliga odlingsmaterial för olika miljöer (2,3).

2.2 Utformning av odlingssystem för olika ändamål och produktions-kapacitet

Utformningen av odlingssystem med poppel och hybridasp påverkar biomassans kvalitet och användbarhet. Dessa egenskaper kan till viss del styras genom exempelvis val av odlingsmaterial (kloner), planteringsförband och gallringsprogram, men påverkas även av odlingslokalernas förutsättningar. Etablering av täta planteringar har en högre initialkostnad. Utan ett gallringsprogram kommer omloppstiden att bli kort med ett stort stamantal per ha och en smal medeldiameter. Glesare planteringar har en lägre etableringskostnad, längre omloppstid och grövre stammar. Att skörda grova stammar innebär att hanteringskostnaden per kubikmeter biomassa blir lägre med dagens teknik och kan få betydelse för systemets energieffektivitet och ekonomiskt utfall. Vid skörd av grövre stammar kan konventionell skogsbruksteknik användas och skörd av biomassan kan implementeras direkt inom nuvarande avverkningssystem. Med tätare planteringsförband infaller oftast optimal skördetidpunkt tidigare, vilket innebär tidigare intäkter och ett bättre kassaflöde. Det finns teknik och maskiner för skörd av smala stammar men energieffektiviteten blir troligen lägre än vid skörd av grova stammar. Odlingens stamtäthet och stamdiameteren är främst de faktorer som styr vilken teknik som kan användas vid skörd.

Olika trädslag skiljer sig i förmågan att uppnå en hög produktion på en given odlingslokal, där nederbörd, klimat och markförhållanden kommer att påverka produktionskapaciteten. Ett traditionellt sätt att studera detta är att plantera trädslagsförsök. Idag finns det ett fåtal gamla försök planterade med poppel och hybridasp, men under senare tid har det planterats landsomfattande försöksserie med dessa trädslag tillsammans med traditionella skogsträdslag (Rytter & Lundmark 2014, Böhlenius m.fl. 2019 finansierat av Energimyndigheten). Framtida resultat från dessa försök kommer ge en inblick i produktionspotentialen för poppel och hybridasp, men kanske ännu viktigare, öka vår förståelse för hur olika odlingsförhållanden påverkar skillnader i produktion mellan olika trädslag. Det anläggs även ett nytt trädslagsförsök på tidigare åkermark som har haft en generation skog (granåkrar) samt på skogsmarker inom samma klimatzon (planterats 2020 och 2021). Försöket är i första hand planerat som en etableringsstudie som senare kommer att övergå till en studie av produktion och biomassa-kvalitet. Försöket lämpar sig även för studier av biodiversitet och markförändring.

2.2.1 Allometri, biomassa-funktioner och produktion

Poppel

Studier av trädens allometri ligger till grund för uppskattningar av biomassa-produktion på bestånds- och landskapsnivå. Tillförlitliga uppskattningar av biomassa-produktion är viktiga instrument för att kunna uppskatta både odlingens ekonomi och dess klimat-påverkan. Under perioden 2011–2020 har volym- och biomassa-ekvationer tagits fram för det svenska poppelmaterialet (Johansson och Karacic, 2011; Hjelm och Johansson, 2012), höjdtutvecklingskurvor samt ekvationer som beskriver förhållandet mellan diameter och höjd (Johansson, 2011; Johansson, 2013; Hjelm m.fl., 2015). Det studerade materialet hade varierande ålder och genetiskt ursprung och de beskrivna ekvationerna kan därför antas vara generellt giltiga för svenska förhållanden. I en studie har man också uppskattat biomassan i poppelstubbar och grovrötter (> 5 cm) med syfte att stödja beräkningar av energi- och kollagringspotential i odlingssystem med poppel (Johansson & Hjelm, 2012). Underlaget för produktionsstudier hos poppel är relativt begränsat och baseras oftast på inventeringar av odlingar etablerade med varierande täthet, skötsel och odlingsmaterial. Dimitriou och Mola-Yudego (2017) rapporterade att medelproduktion för inventerade poppelodlingar i Sverige låg på 6–7 ton per ha och år, men att variationen var stor. För en del utav dessa odlingar saknades uppgifter om tidigare gallringsuttag. Data från Christer-sson (2015) och annat opublicerat data från senare års mätningar visar att poppel kan producera uppemot 30 m³ (10 ton) per ha och år på de bästa lokalerna i södra Sverige. Produktionsnivåer på ca 25 m³ per ha och år har uppmätts för både hybridasp och poppel (OP42) på åkermark i Uppland (Karacic, opublicerade data).

Hybridasp

Det finns funktioner för skattning av hybridaspens stamvolym. Den mest tillämpade funktionen är utvecklad för ett äldre odlingsmaterial av hybridasp (Johansson 1953). Densitet för hybridasp har skattats utifrån material från Skogforsk fältförsök (Stener 2010). Biomassa-funktioner för hybridasp har också utvecklats, i syfte att studera produktion av biomassa på jordbruksmark (Johansson 2013). Då trädhöjd har uteslutits i funktionerna, som enbart har diameter som oberoende variabel, begränsas tillämpningen utanför det studerade materialet.

Höjdtvecklingskurvor är ett viktigt verktyg för att bedöma ett trädslags produktion och lämplighet för odling på en viss ståndort. Det finns ett par uppsättningar av höjdkurvor för hybridasp framtagna för Sverige och Danmark (Jacobsen 1976, Johansson 2013). Dessa höjdtvecklingskurvor har utvecklats för äldre odlingsmaterial. En viktig fråga är om höjdkurvor behöver uppdateras i takt med att förädlingen fortskrider. Data från odlingstester med hybridasp med upprepade mätningar av höjd skulle lämpa sig väl för att testa och eventuellt uppdatera höjdkurvorna.

För hybridasp finns det mätserier som täcker en hel omloppstid på jordbruksmark i södra Sverige. I en sammanställning av Skogforsks försöksytor var den årliga medelproduktionen av stamvolym 20–22 m³ per ha (7.5–8.2 Mg TS ha⁻¹) (Fahlvik m.fl. 2021). Medeltillväxtens kulmination inträffade vid en ålder av 25–30 år. Bestånden hade skötts med inriktning mot rundvirkesproduktion. Motsvarande tillväxtnivåer har uppmätts efter ett par år i stamtäta rotskottsuppslag med hybridasp på åkermark i södra Sverige (Rytter & Rytter 2017).

AI

Gråalen har visat på produktionsnivåer på 4–5 Mg TS ha⁻¹ år⁻¹ på skogsmark och uppemot 7–8 Mg TS ha⁻¹ år⁻¹ på åkermark (Johansson 2000, Tullus m. fl. 2013, Rytter & Rytter 2016). Omloppstiden under nordiska förhållanden kan förväntas vara 25–40 år för gråal (Aosaar m.fl. 2012, Rytter m.fl. 2013, Rytter & Rytter 2016). Produktionsstudierna för gråal har i många fall utförts i oskötta, naturliga föryngringar. Volymfunktioner för gråal och klibbal har tagits fram baserat på data från naturligt föryngrade bestånd (Johansson 2005). I studien gjordes även skattningar av alens densitet. Även biomassafunktioner har tagits fram för gråal och klibbal (Johansson 2000). Höjdtvecklingskurvor har utvecklats för gråal och klibbal på skogsmark (Johansson 1999).

Utmaningar för framtiden 2030

Tillväxtfunktioner, höjdtvecklingskurvor, utveckling av nya funktioner för bättre skattning av biomassa och volym är alla viktiga verktyg för att kunna göra prognoser för produktion och ekonomi givet olika skötselalternativ. För samtliga trädslag är det angeläget att få till en struktur med upprepade mätningar inom bestånd med känd historik och känt odlingsmaterial. Det finns ett behov av att följa upp med nya produktionsstudier för samtliga trädslag. Dagens underlag begränsas till ett fåtal bestånd och ofta till kortare mätserier. Hybridasp och poppel behöver kompletteras med data från odlingar på skogsmark och här kan nyligen anlagda trädslagsförsök bidra med data. Då förädlingsarbetet är en fortlöpande process behöver produktionsuppgifter uppdateras kontinuerligt.

Det finns också ett behov av att utveckla processbaserade modeller för poppel och hybridasp (och även andra introducerade trädslag). Dessa modeller är användbara instrument för biomassauppskattningar och ökar vår förståelse för hur tillväxt och produktion påverkas av klimat, vattentillgång och skötsel. Processbaserade modeller har en bredare tillämpning än empiriska modeller och kan användas för att simulera utveckling i olika tillväxtmiljöer, ett förändrat klimat och för klonbaserade odlingssystem genom att ta hänsyn till genetiska variationer i odlingsmaterialet. Tillförlitliga modeller ligger också till grund för modellering av kolinlagring och kretslopp av växthusgaser. Idag saknas det ett pålitligt verktyg för att kunna uppskatta en framtida biomassaproduktion i olika klimatzoner och för olika kloner, vilket ligger till grund för markägarens beslut om eventuell plantering av snabbväxande trädslag.

Allometri, biomassa-funktioner och produktion	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	4	6	– Utveckling av mer exakta uppskattningsmetoder för biomassatillväxt, både i växande bestånd och för olika typer av ståndorter där det inte funnits någon skog eller med skog av inhemska trädslag (1,2,3). – Utveckla verktyg som kan modellera tillväxt under förändrade klimatförhållanden (1,2,3). – Utveckla tillväxtfunktioner för att kunna simulera beståndsutveckling och ekonomiska utfall för olika skötselscenarior (1,2,3). – Utvärdera behovet av att uppdatera befintliga funktioner i takt med att förädlingsarbetet fortskrider och att mer data blir tillgängligt (1,2,3). – Funktioner för skottskogens speciella förutsättningar (1,2,3).
Hybridasp	5	6	– Utveckla tillväxtfunktioner för att kunna simulera beståndsutveckling och ekonomiska utfall för olika skötselscenarior (1,2,3). – Utvärdera behovet av att uppdatera befintliga funktioner i takt med att förädlingsarbetet fortskrider och att mer data blir tillgängligt (1,2,3). – Funktioner för skottskogens speciella förutsättningar. – Behov av produktionsstudier på skogsmark (2,3). – Öka kunskapen om hur skogsskötseln påverkar beståndsutvecklingen i förhållande till uppsatta mål (1,2,3).
Al	2	3	– Utveckla tillväxtfunktioner (2,3). – Uppdatera funktioner för skattning av biomassa, övre höjd etc. i takt med att mer data blir tillgängligt (1,2,3). – Behov av grundläggande produktions- och skötselstudier för planterade bestånd (2,3). – Öka kunskapen om förädlingspotentialen hos trädslaget (2,3).

2.3 Planteringsförband, olika typer av odlingssystem poppel

Poppelodlingar kan utformas på många olika sätt. Odlingssystemet definieras främst genom lämpligt planteringsförband och dess målsättning när det gäller slutprodukt. I Sverige har man hittills nästan uteslutande planterat poppel med en ca 3×3 m² kvadratisk förband. Det finns också en mindre andel något tätare och glesare bestånd. Gallring är också vanligt förekommande och utförs ofta utifrån rekommendationer och erfarenheter från annan lövskötsel. För några år sedan etablerade SLU två förbandsförsök med poppel, var av ett finns kvar och kan börja utvärderas om några år. Både SLU och Skogforsk har dessutom anlagt biomassaytor i tätare förband (2.5×1 m²) med kloner som odlas kommersiellt i Europa och i syfte att utvärdera deras potential som energiskog med korta omloppstider. På skogsmark planteras poppel ofta med ett förband på 1 300–1 500 träd per hektar. Idag saknar vi förbandsförsök på skogsmark.

Idag så saknar vi helt kunskap om hur olika gallringsintensitet påverkar tillväxt och total produktion. Det är viktigt att denna fråga studeras systematiskt eftersom den påverkar utformningen av framtida odlingssystem med poppel, inte minst skötsel av en andra

generations poppel som bildas ur uppslag av vegetativa stubbskott. Frågan är hur dessa planteringar skall skötas för att maximera produktionen, biomassans användningsområden och ekonomin. År 2012 anlades ett gallringsförsök i andra generation poppel som var 7 år då gallringen gjordes. Inom några år kan vi analysera hur olika gallringsintensitet påverkar produktionen under en hel omloppstid som idag antas ligga på 20 år. De preliminära resultaten tyder på att ogallrade ytor självgallras kraftigt och att produktionen i dessa är mycket hög, på över 33 m³/år.

Idag är alla planteringar planterade med jämna förband vilket gör att odlingen får ett utseende av ett plantage. Det saknas kunskap om alternativa planeringsmodeller och dess påverkan på ekologiska värden och produktion/kvalité på biomassan.

Utmaningar för framtiden 2030

Utmaningen för framtiden blir att utveckla ett odlingssystem som kan kombinera hög produktion med andra värden tex. rekreation och biologisk mångfald. Dagens strukturer med täta monokulturer planterade i raka rader behöver förändras radikalt för att möta högre ställda krav i framtiden. Under 2021 kommer det planteras försök där det skall bli "poppelskogar" och inte "poppelplantager". Utmaningen kommer att vara hur dessa skall planteras (plantmaterial och markbehandlingsmetod) och hur virkets kvalité och produktion kommer att påverkas samt vilka kostnader detta medför.

Skogsskötselåtgärder som t.ex. gallring kan vara ett sätt att skapa framtidens poppel skogar. Här har SLU genom tidigare samarbeten inom Poppelnätverket, LIFE and EUREKA programmen stora möjligheter att undersöka olika typer av odlingssystem; täta planteringar för tex biodrivmedel eller glesa planteringar för produktion av timmer, både nationellt och internationellt, vilket breddar vår kunskap ytterligare. Poppelns flexibilitet vad gäller utformningen av odlingssystemet framhävs ofta som en positiv egenskap men kan samtidigt verka negativt genom att skapa en osäkerhet i vad som skall produceras. Idag saknas ett tydligt odlingssystem för poppel vilket gör att många nyanlagda odlingar har en prägel av pilotprojekt där markägarna testat och känner sig fram till olika lösningar. Denna oklarhet kring poppelråvaran skapar en flaskhals för odling av poppel i stor skala. Den bakomliggande orsaken till ökning av poppelarealen och det odlingssystem som vi använder oss av idag är att odling inte enbart sker med inriktning mot bioenergi (pellets eller bränsleflis). Markägarna har en förhoppning om att en del av den producerade biomassan kan säljas som massaved eller ännu värdefullare poppelprodukter, i sämsta fall som bränsleved. I andra länder finns det exempel på väl fungerande odlingssystem för poppel med väldefinierade och teknologiskt utvecklade värdekedjor. Detta gäller oavsett om det handlar om italienska odlingar för faner och plywood, nordamerikanska odlingar för pappersmassa och sågade produkter eller tyska täta planteringar för skörd av bränsleflis inom 4–5-åriga intervaller. Dessa system är också väldefinierade när det gäller odlingsmaterial och i termer av TRL skala skulle dessa system karakteriseras med mognadsgrad 9. För Sverige och hela östersjöregionen återstår att hitta en produktionsnisch för poppel som säkerställer avsättningen och som är ett tillräckligt starkt incitament att öka arealer till scenario 1. En ökning till scenario 2 och 3 kommer dessutom att öka möjligheterna att utveckla fler högvärdiga produkter.

Dagens utmaning är hur vi skall utforma Sveriges odlingssystem när det råder osäkerhet kring vilka produkter som kommer att efterfrågas. Dagens strategi är att vi skall skapa ett brett odlingssystem som kan anpassas till flera olika slutprodukter.

Planteringsförband, olika typer av odlingssystem poppel	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	6	7	– Anlägga gallringsförsök i första generationens poppel planteringar (1,2,3). – Analysera hur olika gallringssystem påverkar tillväxten och biomassans egenskaper, verkets kvalité och egenskaper för industriella processer i andra-generationen (1,2,3). – Odlingsekonomi för andra-generationens poppelplanteringar (1,2,3). – Analysera effekt av klimatförändringar t ex torka på produktionen (1,2,3). – Utbilda rådgivare (1,2,3). – Studera poppels tillväxt återhämtning efter torka (1,2,3). – Undersöka hur framtidens poppel planteringar skall planteras. – Anlägga demonstrationsytor för rådgivare som visar hur framtidens poppel skogar kan se ut (2,3). – Utveckla en värdekedja som beskriver de olika målen med poppelodling och dess produkter.
Hybridasp	7	8(9)	– Behov av grundläggande forskning om hur skötseln ska utformas för att uppnå uppsatta mål (biomassa, rundvirke etc.) (1,2,3). – Utvärdera rationella metoder för skötsel/avveckling av nästa generations rotskottsuppslag (1,2,3).
AI	2	2	– Stort behov av grundläggande skötselforskning (1,2,3). – Utöka pågående arbete med att ta fram och utvärdera nya odlingsmaterial (1,2,3). – Ökad kunskap om rationell plantproduktion för att möta ev. efterfrågan (1,2,3).

2.3.1 Planteringsförband, gallring och skötsel i hybridaspbestånd

Normalt rekommenderas plantering av ca. 1 100–1 600 stammar per hektar. Vanliga motiv till ett relativt lågt plantantal är den höga kostnaden för plantor samt att man genom ett glesat planteringsförband kan undvika dyra röjningskostnader (Persson m.fl. 2015). Det är också en avvägning mellan produktion och dimensionsutveckling där den framtida inriktningen kan styras mot både biomassaproduktion och produktion av traditionella sortiment som timmer och massaved. Rekommenderade planteringsförband grundar sig framför allt på praktiska erfarenheter. Det finns ett behov av att studera beståndsutvecklingen och utfallet av olika sortiment vid olika planteringsförband.

Gallringens effekter på beståndsutvecklingen har studerats för hybridasp planterad på tidigare jordbruksmark i södra Sverige (Rytter & Stener 2014, Fahlvik m.fl 2019). Resultat från gallringsförsöken tyder på att hybridasp bör gallras tidigt och relativt hårt för att hålla igång dimensionsutvecklingen. Det fanns en tendens till att bestånden svarade dåligt på sent insatta gallringar. I försöken kulminerade volymens medeltillväxt vid 25–30 års ålder. Volymtillväxtens kulmination är normalt en viktig parameter vid beslut om omloppstiden längd.

Hybridaspens förmåga att skjuta rotskott kan resultera i mycket täta föryngringar i nästa generation. Om skötseln är inriktad mot rundvirkesproduktion krävs det därför normalt omfattande röjningsinsatser i ungdomen för att gynna dimensionsutvecklingen

hos huvudstammarna. Det är också en förutsättning för att kunna använda konventionell teknik vid gallringarna. För att hålla nere kostnaderna vid tidiga ingrepp kan schematiska uttag i korridorer med skördare vara ett alternativ. Det ger också en möjlighet till ett tidigt uttag av biomassa. Effekten av korridorsgallring i rotskottsuppslag har studerats av (Mc Carthy & Rytter 2015). Studien visade att korridorsgallringen stimulerade dimensionsutvecklingen hos kvarvarande träd samtidigt som skillnaderna i total biomassaproduktion var små mellan gallrade och ogallrade ytor under den studerade 12-årsperioden. Idag saknas lämplig och kostnadseffektiv teknik för denna typ av gallring (Mc Carthy 2015).

En möjlig skötselmodell för att ta tillvara hybridaspens normalt mycket rikliga rotskottsuppslag kan vara en upprepad skörd av biomassa. En viktig fråga är produktionens uthållighet vid skörd av rotskott med täta intervall. I ett pågående försök görs avverkning med 4, 8 eller 16 års intervall. Avverkning efter 8 och 16 år kombineras med gallringsingrepp. Efter att ha följts under åtta år var skillnaderna i totalproduktion små medan dimensionsutvecklingen skiljde sig kraftigt åt mellan behandlingarna (Rytter & Rytter 2017, Rytter 2019). Helträdsskörd av ungskog innebär ett stort uttag av näringsämnen och försöket följs upp med mätningar av näringsförråd, både ovan och under mark. Efter åtta år gick det inte att påvisa några skillnader hos studerade markegenskaper (Rytter 2019). Det är viktigt med en långsiktig uppföljning av denna typ av försök.

Något som kan vara viktigt att ta hänsyn till i skötselmodeller som bygger på skörd av rotskott är förändringar i klonsammansättningen över tid. I försök med tredje generationen hybridasp hade vissa kloner nästan försvunnit helt och andra blivit mer dominerande jämfört med det planterade beståndet (Stener m.fl. 2018). Sammansättningen av kloner kan därför behöva anpassas vid plantering om den långsiktiga strategin bygger på rotskottsuppslag. Detta för att undvika alltför genetiskt homogena bestånd.

2.3.2 Planteringsförband, gallring och skötsel i albestånd

Om målsättningen är biomassaproduktion, kan ett tätare förband vara att föredra eftersom det finns ett positivt samband mellan förband och totalproduktion. I en sammanställning av Nordeuropeiska produktionsstudier med gråal drog författarna slutsatsen att det bör finnas 2 500–6 500 stammar per hektar i slutbeståndet för att nå en hög produktion (Aosaar m.fl. 2012). Då alen har en snabb tillväxt i ungdomen är det viktigt med tidiga ingrepp för att gynna dimensionsutvecklingen (Johansson 1999). Detta är särskilt viktigt om målsättningen är att uppnå rundvirkesdimensioner. Ett gallringsförsök med gråal på torvmark visade att gallring gav snabbare dimensionsutveckling samtidigt som totalproduktionen var lika stor som i ogallrade behandlingar (Rytter 1995).

I likhet med hybridaspern kan gråal skjuta rikligt med rotskott. Täta föryngringar uppkomma genom vegetativ förökning kan vara särskilt lämpligt vid odlingssystem inriktade mot biomassaproduktion. Klibbalen har god förmåga att skjuta stubbskott. Till skillnad från rotskott bli förbandet i föryngringar baserade på stubbskott i stor utsträckning beroende av förbandet i föregående generation.

Utmaningar för framtiden 2030

Merparten av skötselstudierna för hybridasp bygger på data från ett fåtal försök på bördig, tidigare jordbruksmark i södra Sverige. Skötselforskning om gråal är än mer bristfällig. Det finns därför ett stort behov av mer data som även omfattar fler ståndorter för att kunna dra säkrare slutsatser om lämpliga skötselprogram för olika skötselmål.

Många markägare ser täta rotskottuppslag som ett problem. Dels innebär täta ungskogar en hög röjningskostnad om målsättningen är rundvirkesproduktion, dels utgör rotskotten ett hinder vid framtida trädslagsbyten eller en förändrad markanvändning. För att få markägare att satsa på hybridasp är det därför också viktigt med kunskap om hur hybridasp kan avvecklas.

Planteringsförband, olika typer av odlingssystem	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	6	7	– Anlägga gallring försök i första generationens poppel planteringar (1,2,3). – Analysera hur olika gallringssystem påverkar tillväxten och biomassans egenskaper, virkets kvalité och egenskaper för industriella processer i andra-generationen (1,2,3). – Odlingsekonomi för andra-generationens poppelplanteringar (1,2,3). – Analysera effekt av klimatförändringar tex torka på produktionen (1,2,3). – Utbilda rådgivare (1,2,3). – Studera poppels tillväxt återhämtning efter torka (1,2,3). – Undersöka hur framtidens poppelplanteringar skall planteras. – Anlägga demonstrationsytor för rådgivare som visar hur framtidens poppelskogar kan se ut (2,3). – Utveckla en värdekedja som beskriver de olika målen med poppelodling och dess produkter.
Hybridasp	7	8(9)	– Behov av grundläggande forskning om hur skötseln ska utformas för att uppnå uppsatta mål (biomassa, rundvirke etc.) (1,2,3). – Utvärdera rationella metoder för skötsel/avveckling av nästa generations rotskottsuppslag (1,2,3).
Al	2	2	– Stort behov av grundläggande skötselforskning (1,2,3). – Utöka pågående arbete med att ta fram och utvärdera nya odlingsmaterial (1,2,3). – Ökad kunskap om rationell plantproduktion för att möta ev. efterfrågan (1,2,3).

2.3.3 Produktionshöjande åtgärder poppel, hybridasp och al

Produktionshöjande åtgärder i poppelbestånd har i Sverige studerats mest som en del av etableringsproblematiken där ogräskontroll och markberedning brukar ha en positiv tillväxteffekt (Böhlenius 2015a, Böhlenius 2015b, Böhlenius 2016b, Mc Carthy 2016). Få projekt har studerat gödslings effekter på åkermark men det finns trädslagsförsök planterade över hela Sverige där poppel och hybridasp finns representerade och där gödsling (fast kvävegödsel) är ett av försöksleden (finansierat av Energimyndigheten 2011). Dessa försök är 8 år och gödslings effekten kan utvärderas framför allt som produktionshöjande metod under ungskogsfasen. Försöken kommer att fungera som en plattform för framtida studier av markvegetation, markkol, biomassaegenskaper (Energimyndigheten 2019) och de ekonomiska förutsättningarna. De preliminära resultaten visar att gödsling har en positiv effekt på produktionen (Böhlenius 2018 preliminära resultat) men det återstår en detaljerad analys innan de slutliga resultaten

presenteras. Andra gödslingsförsök på åkermark är av liten omfattning och kan inte utgöra en grund för praktiska rekommendationer om gödselgivor på olika typer av marker (Dimitriou & Mola-Yudego, 2017; Johansson & Hjelm, 2014). Eftersom ett lågt pH kan ha en hämmande effekt på tillväxten hos poppel är det nödvändigt att undersöka om kalkning på skogsmark kan ge långsiktiga positiva effekter för etablering och tillväxt. Även tillförsel av aska, som vanligen inte resulterar i kraftig produktionsökning för tall och gran, kan ha betydande produktionsökningar för tex poppel.

Gödslingsstudier i andra länder visar varierande resultat i förhållande till markegenskaper, gödselgivor och odlingens ålder. Vanligen ger gödsling positiva tillväxteffekter på mindre produktiva marker och när bestånd sluter sitt krontak. Gödsling av väldigt unga eller äldre bestånd antas antingen vara ineffektivt och gynna konkurrerande markvegetation eller orsaka kväveläckage. I täta poppel planteringar, liknande salix, ger gödsling en tillväxtökning. Resultat från svenska salixstudier visar också att gödsling kan ge en ökad biomassaproduktion. Detta har resulterat i att man idag kan ge generella rekommendationer när det gäller gödselgivor för salixenergiskog. För poppel kan vi däremot inte ge några rekommendationer för gödsling.

Spridning av avloppsslam och andra organiska gödslingsmedel är en möjlig produktionshöjande åtgärd i poppelodlingar samtidigt som man återför växtnäringssämnen och ökar mullhalten i marken. Produktions- och miljöeffekter av gödsling med slampellet i kommersiella poppelodlingar studeras för närvarande genom internationellt samarbete inom LIFE program (medfinansieras av Energimyndigheten). Möjligheter till framtida återföring av slam i poppel- och hybridaspodlingar är beroende av politiska beslut och direktiv som sätter ramar och regelverk på nationell och EU nivå. Så sent som i början av 2020 överlämnades till den svenska Regeringen ett betänkande av utredningen om återföring av fosfor från avloppsslam (SOU 2020:3). Utredaren har utifrån sitt uppdrag tagit fram två alternativ för reglering av spridning av avloppsslam; 1) totalt spridningsförbud med mycket begränsade undantag och 2) spridningsförbud som medger vissa undantag för hygieniserat och kvalitetssäkrat slam på produktiv jordbruksmark. Båda alternativen innebär egentligen kraftigt begränsade möjligheter att sprida slam. Alternativ 2 har utformats för att möjliggöra kretsloppsprincipen för fosfor och en rad andra växtnäringssämnen inklusive kol. De skärpta kraven och justerade gränsvärden i alternativ 2 kan på sikt resultera i att möjligheten till slamspridning försvinner. Energimyndigheten och över 160 andra remissinstanser har haft möjligheten att yttra sig om utredningens betänkande. Vi har gått igenom ett tiotal av remissvaren från instanser vars kompetensområden knyter an till arealnärings av relevans för odlingssystem med snabbväxande trädslag. Generellt sett framhävs alternativ 2 som det enda realistiska alternativet för framtida spridning av slam på bördig jordbruksmark. Samtidigt accepterar man en viss skärpning av certifierings- och kvalitetskrav. Energimyndigheten, Svenska bioenergiföreningen och företaget EkoBalans lyfter fram betydelsen av att möjliggöra spridning av slam i industrigrödor och intensiva odlingar med poppel och andra snabbväxande trädslag. I detta avseende efterfrågas mer kunskap och försöksverksamhet som belyser potentialen och miljöeffekter av denna verksamhet. Väldigt få instanser förespråkar alternativ 1 med en mycket mer begränsade möjligheter till slamspridning. Bland dessa finner vi bland annat Naturskyddsföreningen, Skogsstyrelsen och Kungliga Skogs- och Lantbruksakademien (KSLA). Skogsstyrelsen betonar i sitt korta remissvar att det är angeläget att även i fortsättningen vara samrådsmyndighet i förslag om förordning om användning av avloppsslam på skogsmark. Man bör därför i nuläget utgå ifrån att spridning av avloppsslam på skogsmark kommer att ske i mycket liten omfattning, förmodligen endast inom ramen för försöksverksamhet. Bevat-

ning och gödsling med slam och avloppsvatten i salixodlingar har tidigare utgjort ett intressant forskningsområde (Dimitriou & Rosenquist, 2011; Aronsson & Perttu, 2001). Internationellt fokuserar denna forskning i huvudsak på poppel som rent teknologiskt kan ha vissa fördelar jämfört med salix. Därför anser vi att de snabbväxande trädslagen kan spela en viktig roll i upprättandet av cirkuläreconomiska modeller för återvinning av fosfor, kväve och kol samtidigt producera biomassa för energiändamål och biobaserade material.

Gödsling av gråal har undersökts i begränsad omfattning. Studier av effekten av kvävetillförsel på gråalens kvävefixering indikerar att stora givor kan påverka kvävefixeringen negativt (Granhall m.fl. 1983, Rytter m.fl. 1991) medan en lägre dos kan stimulera fixeringen av kväve (Ingestad 1980, Rytter m.fl. 1991). I Finland studerades gödsling av naturliga föryngringar med gråal på torvmark och mineraljord. Vid 17–20 års ålder gick det inte att påvisa någon produktionshöjande effekt av gödsling (Hytönen & Saarsalmi 2015).

2.3.4 Snabbväxande lövträd som näringsfilter för att minska övergödning

Internationell forskning fastställer att poppel svarar bra på bevattning och kan därför rekommenderas för användning i fytoremediering, dvs. som vegetationsfilter i olika sammanhang. I Sverige etablerades ett antal demonstrationsobjekt och fungerande system med salix där främst avlopps- och lakvatten användes för att bevattna större eller mindre odlingar (Enköping, Lundby gård mm). Tyvärr har inte denna forskning resulterat i att man tillämpar och vidareutvecklar systemet med snabbväxande trädslag.

När det gäller jämförelse mellan mark planterad med poppel och jordbruksmark odlad med ettåriga grödor har man kunnat fastställa att utlakning av NO₃-N från marker planterade med poppel var betydligt lägre än från intilliggande spannmålsfält, men att skillnaderna inte var signifikanta i jämförelse med närliggande gräsmarker (Dimitriou och Mola-Yudego 2017). Specifikt var utlakning av NO₃-N från poppelplantager signifikant lägre på våren jämfört med spannmålsfält, medan NO₃-N-utlakning på hösten var ungefär lika stor. Att etablera buffertzoner med snabbväxande lövträd längs Sveriges sydkust skulle minska urlakning av 626 ton PO(4)_e till vattendrag varje år (Styles, Borjesson m.fl. 2016).

Utmaningar för framtiden 2030

Effektiviteten av produktionshöjande åtgärder i form av gödsling är en ofta återkommande fråga från markägare. Tillförsel av gödning är en komplex fråga och beroende av flera faktorer som behöver utredas innan rekommendationer kan ges till markägare eller rådgivare. Internationella resultat är inte entydiga och det finns ett tydligt behov av att undersöka var, hur, när och med vilket näringsämne gödsling kan ge en produktionsökning. Under vilka odlingsförutsättningar gödsling kan vara ett alternativ behöver också utvärderas innan underlag för rådgivare och odlare kan tas fram. Idag utgör inte frågan om gödsling en flaskhals för att öka arealen till scenario 2, men kunskapen om produktionsökningar kan resultera i att större mängder biomassa kan produceras från samma areal.

Gödsling med avloppsslam är ett intressant alternativ som bör tillägnas mer uppmärksamhet. Frågor kring slamspridning behöver utforskas utifrån systemperspektiv med avseende på jämförelse med andra kretsloppslösningar, effekter på en ökad biomassa-produktion, samhälls- och odlingsekonomi och miljöpåverkan. Miljöpåverkan relaterar särskilt till giftfri miljö, näringsläckage och klimatpåverkan. En särskilt viktig fråga är att bedöma riskerna med slamspridning på olika typer av marginalmarker som dock har uteslutits från betänkandet i SOU 2020:3.

Produktionshöjande åtgärder	TRL 2021	TRL 2021	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	4	5	– Anlägga gödslingsförsök i samband med förbands-, gallrings- och produktionsförsök (2,3). – Anlägga försöksverksamhet som syftar till att fastställa produktions- och miljö- och hälsoeffekter vid spridning av hygieniserat slam på olika typer av marker (1,2,3). – Systemanalyser för återföring av hygieniserat slam i jämförelse med andra kretsloppsalternativ (1,2,3). – Teknik för slamspridning i poppelodlingar av varierande utformning och ålder (1,2,3). – Utveckla strategier för hur kalk/aska kan tillföras samt studera effekterna kort och långsiktigt (2,3). – Analysera insamlade resultat från tidigare anlagda gödslingsförsök (2,3). – Optimera gödsling dos och innehåll i förhållande till trädslag och odlingslokal (2,3). – Öka förståelsen hur snabbväxande lövträd kan användas som näringsbindare för att minska näringsläckage (2,3).
Hybridasp	3	4	– Liknande forskningsfrågor som för poppel (1,2,3).
Al	-	-	– Gödsling av al är inte aktuell. – Samodling med andra trädslag som produktionshöjande åtgärd (2,3).

3. Tillgången på klimatanpassat odlingsmaterial

Poppel och hybridasp odlas som enskilda kloner. Lämpliga kloner selekteras utifrån deras tillväxtegenskaper, produktionspotential och tolerans mot olika sjukdomar. Arealen svenska poppelodlingar domineras för närvarande av klon OP-42 medan hybridasp planteras nästan uteslutande med Ekebomixen även om baltiska och finska kloner förekommer. På senare tid introducerade både Skogforsk och SLU nytt poppelmaterial baserat huvudsakligen på *P. trichocarpa*. Införande av dessa nya kloner har skapat möjligheten för diversifieringen av odlingsmaterialet. Sammantaget utgör det befintliga materialet en bra startpunkt, men redan förverkligande av scenario 1 kräver att man selekterar fler elitkloner med tillräckligt bra sjukdomsresistens. Vid ökade arealer kommer troligtvis även förekomsten av vissa sjukdomar att öka, så som bladrost till exempel, vilket medför en ökad risk för ekonomiska förluster. Scenario 2 och 3 kräver etablering av ett långsiktigt förädlingsprogram med inriktning på Norden och Östersjöregionen. Ett sådant förädlingsprogram behöver samordnas nationellt och kanske även på internationell nivå.

3.1 Förädling – nya korsningar

Arbetet med framställning av nya, klimatanpassade poppelkloner har varit tämligen sporadiskt, vilket gäller för både Sverige och hela Östersjöregionen. På Island har förädlingen varit lite mer omfattande. Det isländska materialet har inte testats tillräckligt i norra Sverige där det skulle passa in fenologiskt och därmed kunna ha en viss potential. SLU:s preliminära utvärderingar av detta material i mellersta Sverige har visat att väldigt få kloner tolererar angrepp av bladrost. Det finns dock 3–4 kloner som kan rekommenderas för vidare testning. SLU:s förädling av *Populus trichocarpa* är det enda poppelmaterialet som hittills tagits fram i Sverige. Delar av detta material planteras idag kommersiellt och har bidragit till en viss genetisk diversifiering av poppelodlingar (Karacic m.fl. 2021; Adler m.fl. 2021). År 2011 genomförde SLU en fröinsamling i ett antal försök med både belgisk- och nyförädlad svensk *P. trichocarpa*. Fröinsamlingen resulterade i omkring 13 000 avkommor som har genomgått en första testningsfas och behöver nu planteras i fältförsök. Det har hittills inte funnits projektsammanhang lämpliga för att genomföra en andra omgång av kontrollerade korsningar av det svenska *P. trichocarpa* materialet. Vi ser goda möjligheter att kunna göra det framöver genom att korsa fram nya familjer för grundläggande genetiska studier med specifika ändamål relaterade till, klimatanpassning, tillväxt, sjukdomstolerans samt för egenskaper relaterade till förädling av biomassa inom bioraffinaderier.

Skogforsk har inte bedrivit någon aktiv genetisk förädling med poppel utan har enbart testat kloner som tagits fram från andra mer aktiva poppelförädlande organisationer i Europa. Under 2022 kommer ut tre klontester med 400 kloner som valdes utifrån korttidstest i Ekebo. Basmaterial utgörs av 2 800 fröplantor av 16 familjer av korsningar mellan *Populus trichocarpa* och *Populus maximowiczii*. De här arterna ingår i den mest framgångsrika klon som finns i Sverige, nämligen OP42.

Hybridasp

Förädlingsprogrammet med hybridasp startades under 1980-talet med ett fenotypiskt urval av plusträd från de gamla försöken som anlades på 1940-talet. Detta bedömdes som det mest kostnadseffektiva sättet att snabbt få fram ett bra genetiskt material. Totalt valdes 280 plusträd som förökades vegetativt genom örtartade sticklingar från rotskott på uppgrävda rötter. Sticklingar planterades i 14 fältförsök under perioden 1985–1991, i första hand på tidigare jordbruksmark i södra Sverige. Baserad på en studie av de försöken valdes år 2002 ut 15 kloner för användning i södra Sverige. Däremot används inte alla kloner kommersiellt på grund av förökningsproblem.

År 2010 planterades 15 utvalda kloner och ytterligare kandidatkloner från gamla klontester i en ny serie försök på 10 lokaler över hela Sverige (Stener, Westin, 2018). En tidig utvärdering av försöksserien bekräftade urvalet av de 15 klonerna och identifierade ytterligare tre intressanta kloner. Preliminärt valdes också 18 kloner som kan vara intressanta för praktisk odling i norra Sverige. Under 2021 ska serien mätas på nytt och slututvärderas.

Hybridaspförädling har sedan 1980-talet varit ett rent selektionsprogram. Det innebär att det inte går att nå ytterligare genetiska vinster med materialet som redan finns i Sverige. Ännu bättre material kan erhållas genom omkombination av gener dvs nya korsningar. Nya korsningar mellan utvalda kloner och kloner från materialet som tagits fram i andra länder t.ex. Baltikum, Finland, Tyskland måste sedan genomgå tester i fält innan de kan användas av svenskt skogsbruk.

Utvärdering av mottaglighet för svampsjukdomar är en viktig aspekt av förädling. Infektionstrycket varierar kraftigt mellan olika platser och troligen även över tiden. Detta leder till olika skadebilder i olika försök. Fältobservationer borde därför kompletteras med mer kontrollerade patogentester i laboratorium.

AI

Under 2015 planterades åtta avkommeprövningar av gråal med ca 220 halvsyskonfamiljer från Sverige och Baltikum (Rytter och Stener, 2015). Av data som samlas in i dessa försök kommer en baspopulation att tas fram med syfte att tjäna som underlag för framtida förädlingsarbete. Under 2021 ska första resultaten presenteras och framtidens strategi för gråal ska tas fram. Ett slutligt urval av individer till framtidens förädling ska göras om ca 5 år. Det har även gjorts inledande avkommeprövningar av klibbal i södra Sverige (Stener 2007).

Utmaningar för framtiden 2030

För att poppel och hybridasp i framtiden ska kunna odlas på större arealer blir det nödvändigt att säkra tillgången till ett brett genetiskt material av flera *Populus* arter från deras naturliga utbredningsområden. I nuläget finns det ingen nationell samordning i det avseendet men ett initiativ för att skapa ett nationellt klonarkiv på flera platser skulle vara av stort värde. Det initiativet behöver också inkludera långsiktiga planer för underhåll och finansiering av dessa arkiv.

För scenario 1, 30 000 ha fram till 2030, blir det nödvändigt att selektera ytterligare elitkloner även om en ökning av nuvarande arealen kan påbörjas redan med materialet som är nu tillgängligt i plantskolorna. Detta urval kan ske främst genom nya utvärderingar av tidigare anlagda klonförsök. Ett led i det arbetet kan vara att utvärdera det nya materialet i kommersiella odlingar. På så sätt kan dess produktionsförmåga uppskattas bättre och mer specifika rekommendationer utfärdas för användning av enskilda kloner i olika odlingszoner eller tillväxtförhållanden. En ökning av arealen med poppel och hybridasp enligt scenario 2 och 3 skulle kräva etablering av ett intensivt förädlingsprogram. Utvärdering av nya korsningar av *P. maximowiczii* × *trichocarpa* (SkogForsk) och *P. trichocarpa* (SLU) genom plantering i fältförsök behöver påbörjas snarast och de första användbara resultaten kan förväntas runt 2030. Samordning av förädlingsinsatser är av största prioritet inklusive en strategi för att ta hand om och testa nya korsningar som tillkommer inom forskningsprojekt där småskalig förädling görs för specifika ändamål. En viktig utmaning består i att utveckla testningsmetoder för tolerans/resistens mot olika sjukdomar inom kontrollerade eller semikontrollerade förhållanden.

3.2 Klontester

3.2.1 Poppel och hybridasp

SLU har anlagt ett antal klonförsök med eget material av *P. trichocarpa*. Försöken har delvis utvärderats och visar på att materialet har en potential i ett kallare klimat än vad som är möjligt med klonen OP42 eller de sydeuropeiska klonerna (Adler m.fl., 2021; Karacic m.fl., 2021; Richards m.fl. 2020; Vico et al 2021). Kloner som framgångsrikt odlas i Europa har haft svårt att överleva i mellersta Sverige. Det har också skett utbyte av poppelkloner mellan Sverige och Island. Några få isländska kloner har kunnat selekteras för vidare testning, framförallt korsningar mellan *P. deltoides* och *P. trichocarpa*. Resten av materialet har valts bort på grund av dess mottaglighet för bladrost. På SLU har man under senare år framförallt jobbat med att kartlägga genetisk variation i *P. trichocarpa* när det gäller tillväxt och fenologi (Richards m.fl., 2020). Dessa studier tyder på att detta material kan ha en viktig roll för klimatanpassning av poppel i Sverige och hela Östersjöregionen. Försöken har etablerats i Lettland, Litauen, Polen, Ryssland, Estland samt på Island. Det är viktigt att utvärdera dessa försök under kommande period.

Förädlingsprogrammet för hybridasp har pågått på Skogforsk med varierande intensitet sedan mitten av 1900-talet. Merparten av de kloner som finns att tillgå är hämtade från centrala och södra Europa. Skogforsk har gjort en utvärdering av den tidiga utvecklingen för odlingsmaterial av hybridasp och poppel på både skogs- och jordbruksmark från södra Sverige upp till Norrlands kustland (Stener & Westin 2017). Studien visade på genomgående högre överlevnad och tillväxt för hybridasp än för poppel. Odlingsmaterialens hårdighet inom olika geografiska områden är ett viktigt kriterium i de fälttester som görs med dessa trädslag. Avgången hos poppel var särskilt hög i norra Sverige och det tyder på att en nordflyttning av det material som har tagits fram för södra Sverige inte är att rekommendera (Stener & Westin 2017). Finska kloner av hybridasp visade lovande resultat inom mildare lokaler i norra Sverige. Studien gav stöd för rådande rekommendation att använda dagens kommersiella kloner av hybridasp och poppel på milda lokaler i framför all södra Sverige. I ett norrländskt försök testas nya hybridaspkorsningar där även material från Lettland och Finland ingår (Schüberg 2015). Värt att notera är att klon-testerna med poppel på skogsmark är anlagda utan tillförsel med kalk eller aska vilket troligen påverkat tillväxten och överlevnaden hos plantorna.

För att förebygga skador från bladrost (*Melampsora larici-populina*) och bakteriekräfta (*Xanthomonas populi*), de två allvarligaste poppelsjukdomar på våra breddgrader, gjordes även resistenstester (2013–2015) på de utvalda klonerna och några kandidatkloner vid INBO (The Research Institute for Nature and Forest) i Geraardsbergen, Belgien. Visserligen har *Xanthomonas populi*, vad vi känner till, hittills inte observerats i Sverige, men eftersom den anses mycket allvarlig på kontinenten, så bör den i förebyggande syfte även testas på svenskt material. Det visade sig att endast fem av de selekterade klonerna kan betraktas ha god till acceptabel resistens mot både *Melampsora* och *Xanthomonas* (Stener & Westin, 2015a). Från mätningar av 2010 års försökserie (Stener & Westin, 2015b) på 13 olika lokaler etablerade mellan 56–65 °N framgår dessutom att klon S216PPL52 haft en mycket dålig överlevnad, vilket innebär att den inte bör användas kommersiellt framöver. Av de nya sydliga kandidatklonerna är det nu endast 3 st som har acceptabel resistens.

En ny serie med poppelkloner planterades 2010 (Stener & Westin 2017, Stener & Westin 2018) och kompletterades med ytterligare en serie som anlades 2015. I serien ingick bland annat kloner som selekterades 2003 till kommersiell användning. Försöksserien från 2010 omfattade 10 lokaler som planterades på skogs- och jordbruksmark i fem geografiska regioner i Sverige. Båda serierna ska utvärderas 2021.

Under 2021 kommer tre försök att planteras med målet att studera möjligheterna för biomassaproduktion i korta omloppstid. De tre kloner som anses som resistent ska användas och planteras som monokulturer.

3.2.2 Gråal

Gråalen fanns med i förädlingssammanhang under 1940–50 talet (Ljunger 1959). Då intresset för trädslaget var lågt inom skogsbruket påbörjades inget mer omfattande förädlingsprogram. Skogforsk har inlett en ny satsning på gråal under 2015 genom att etablera en baspopulation på åtta lokaler med material från ett stort antal bestånd i Sverige kompletterat med material från Baltikum (Rytter & Stener 2015). Försöken anlades både på skogsmark och jordbruksmark. Resultat från en sammanställning gjord efter fem tillväxtsånger visade att variationen för studerade trädegenskaper som kan förklaras av genetiska skillnader var genomgående höga och att det finns en god potential för vidare förädlingsarbete (Fahlvik m.fl. 2021).

Tillgången till odlingsmaterial	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	6	8	– Utvärdera tidigare anlagda fältförsök med poppel och hybridasp (1,2,3). – Korsa nytt material för anpassning till olika klimat- och tillväxtförhållanden samt för sjukdomsresistens (1,2,3). – Ta fram nytt material för specifika industriella ändamål (massabruk och framtida bioraffinaderier) (2,3). – Ta fram plantmaterial för skogsmark. – Samordna och etablera ett svenskt Populus arkiv (2,3). – Systematiska studier om morfologiska, fenologiska och tillväxttegenskaper hos Populus i syfte att främja kostnadseffektiv testning av nytt material (1,2,3).
Hybridasp	7	8	– Ta fram ett nytt material för genetiska tester (2,3). – Utforska genetisk variation av de kloner som nyligen rekommenderas för massförökning (1,2,3). – Utforska metoder av resistenstestning mot svampskador inom labbmiljö (2,3).
Al	2	2	– Välja en ny förädlingspopulation utifrån existerande försöken. – Välja även genotyper till massförökning. – Testa ett nytt material via avkommor för att förbättra baspopulation.

3.3 Kommersiellt tillgängligt material och plantproduktion

3.3.1 Poppel

I Sverige, upp till Mälardalen odlas främst klon OP42 (*P. maximowiczii* × *trichocarpa*). Erfarenhetsmässigt har OP42 visat sig kunna uppnå en hög produktion och anses odlings-säker på de flesta marker i södra Sverige (odlingszon 1 och 2 enligt Redalen, 2006). SkogForsk har registrerat en klonblandning med 12 kloner samt fem enskilda poppelkloner som är upptagna i rikslängden under kategori "testat". En utav dessa är OP42. Dessa kloner är därmed godkända av Skogsstyrelsen och kan planteras på skogsmark. Efter en ny utvärdering av poppelförsök och resistenstester i kontrollerade miljö rekommenderar SkogForsk idag endast tre kloner för användning i södra Sverige (< 60 °N) och inga för användning i norra Sverige (Stener & Westin, 2015).

Sedan några år tillbaka produceras under kontrakt kloner förädlade vid SLU, främst för plantering på jordbruksmark i Sverige och de baltiska länderna. En del markägare har dock testat materialet i större pilotodlingar även på skogsmark. Utvalda kloner från detta material kommer inom kort att registreras hos Skogsstyrelsen. I Polen och Litauen planterar man italienska, belgiska och amerikanska kloner där hybrider mellan *P. deltoides*, *P. nigra*, *P. trichocarpa* och *P. maximowiczii* är vanligt förekommande. En del utav detta material kan vara av intresse för att testas i Sverige. Hittills har man dock inte kunnat selektera någon utav dessa kloner för odling i södra Sverige.

Plantproducenter i Sverige odlar främst barrotsplantor av poppel uppdrivna på friland. Detta material är lämplig i de flesta situationer. Vid större planteringsprojekt importeras en del barrotsplantor utav OP42 från Tyskland. Än så länge finns det ingen plantskola i Sverige som producerar täckrotsplantor av poppel. I Litauen produceras även andra typer av planteringsmaterial, så som pålar, sticklingar och täckrotsplantor. Erfarenheter från Litauen och Sverige pekar på att aktörer som planterar större arealer tenderar att försöka mekanisera etableringen och anpassa odlingsmaterialet till sina nyutvecklade

etableringsmetoder (t.ex. vid användning av plasttäckning för ogräskontroll). Vid användning av plasttäckning försöker man minska etableringskostnader genom att plantera sticklingar av olika längd. Dessa kommersiella aktörer är ofta intresserade att producera eget planteringsmaterial som är optimerat till deras verksamhet och etableringsmetoder. Eftersom årliga volymer poppelplantor är små och ojämna blir produktion i plantskolorna beroende av att markägare beställer sina plantor i god tid så att de kan odlas upp nästkommande år. Vid dessa små volymer kommer poppelplantor att förbli relativt dyra. Samtidigt blir det svårt att variera typen av odlingsmaterial och enskilda plantskolor kommer troligtvis att specialisera sig på antingen barrot eller täckrot beroende på sina produktionsförutsättningar. Svenska markägare har ofta en viss erfarenhet av plantering med barrots- eller täckrotsplantor varför denna typ av planteringsmaterial lämpar sig väl för distribution till både större och mindre planteringsprojekt. Plantering med sticklingar av olika storlek är i nuläget markägarna mindre bekanta med. Det är framförallt nödvändigt att kunna avgöra på vilka marker sticklingar är lämpliga och hur de bäst kombineras med ogräskontroll och val av klon. Sticklingar kan också vara känsliga att förvara och hantera. Det är dock troligt att sticklingar i olika utformningar kommer att bli mer aktuella vid en ökning av arealen poppel redan enligt scenario 1 och givetvis scenario 2 och 3.

3.3.2 Hybridasp

Utifrån klonförsök som analyserats av Skogforsk rekommenderar man 18 kloner för användning på milda lokaler i södra Sverige. För norra Sverige valde man preliminärt ut 18 kloner som är tänkbara för användning men deras urval måste bekräftas genom ytterligare utvärderingar. Eftersom klonerna valdes ut i äldre klontester som saknar bra dokumentation är släktskapet mellan de rekommenderade klonerna oklart.

Massförökning av hybridasp sker via vävnadskulturt teknik. Processen utgår från knopp, som sätts i ett tillväxtmedium där nya skott bildas. De nya skotten delas i 2–3 delar som sätts i ett nytt tillväxtmedium. Processen upprepas tills man uppnått önskat antal skott. Slutligen sätts plantorna i ett rotningsmedium varefter de planteras i behållare med torv för produktion av täckrotsplantor. Hela processen innehåller många manuella moment som gör att plantorna kan kosta ca 12 kr. Dessutom finns en variation mellan klonerna, vilket gör att alla kloner inte är lika lätta att föröka alternativt kräver de olika medium. Av denna anledning finns oftast inte alla 18 kloner i kommersiell förökning.

Utmaningar för framtiden 2030

Produktion av poppelplantor är i Sverige begränsad till barrot. Produktionen är svårplanerad eftersom behovet av plantmaterial varierar mellan åren. Utmaningen är med andra ord att med relativt kort varsel säkra tillgång till poppelplantor. Plantskolorna skulle behöva underhålla moderhäckar av ett flertal kloner i tillräckligt mängd för att snabbt kunna tillfredsställa plantbehov vid större projekt. Dessutom skulle plantskolorna behöva kunna leverera olika typer av planteringsmaterial, till exempel sticklingar som är ett lämpligt odlingsmaterial vid användning av plasttäckning eller vid tätare odlingar.

Ett annat problem för plantskolorna är underhåll av produktionspotentialen över en längre period när efterfrågan för poppelplantor är låg. Den ojämna efterfrågan medför att plantproducenter odlar poppel enbart efter beställning. När behovet för plantering av större arealer uppkommer behöver man snabbt öka produktionspotentialen. Denna produktionspotential är bland annat beroende av moderhäckar där det ska vara möjligt att klippa vegetativt förökningsmaterial i tillräckligt stora mängder. Eftersom vi i Sverige

gärna jobbar med klonblandningar för att öka den genetiska variabiliteten och minska riskerna vid etableringen, behöver plantodlarna kunna hantera många kloner samtidigt. Detta komplicerar och fördyrar produktionsprocessen samtidigt som det blir svårt att upprätthålla den önskade proportionen av olika kloner i blandningen.

Idag är informationen om egenskaper för olika kloner och deras lämplighet för odling i olika delar av landet knapp. Klonblandningar har varit ett sätt att hantera osäkerhet kring bristande kunskap om klimatanpassning och produktionspotential för enskilda kloner. Erfarenhetsmässigt kunde man rekommendera endast klon OP42 inom odlingszon 1 och 2 (Redalen, 2006). I odlingszon 3 ökade risken med plantering av OP42 på frostkänsliga lokaler. SLU och SweTree Technologies AB (STT) jobbade med att aktivt förmedla information till odlare om vilka kloner eller blandningar av kloner som är lämpliga för odling i mellersta Sverige och i de Baltiska länderna. Större aktörer har fått producera eget material medan markägare som planterar mindre arealer behöver aktivt söka relevant information hos STT eller SLU.

Detaljkunskaper kring det material som är tillgängligt på marknaden behöver struktureras och göras tillgängliga till både plantproducenter och potentiella poppelodlare. När det gäller SnowTiger kloner kan dessa kloner beställas från ett par plantproducenter men det är oftast nödvändigt att beställa plantorna i god tid och ha direkt kontakt med STT eller SLU för att få information om materialet. Informationen om enskilda kloner beträffande deras lämplighet, klimatanpassning och andra egenskaper behöver bli bättre och lättare tillgänglig till rådgivare och potentiella poppelodlare.

Kommersiellt tillgängligt material och plantproduktion	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	6	7	– Bättre information om kommersiella poppelkloner som kan ges av rådgivare och plantproducenter. – Information om material med kommersiell potential behöver sammanställas centralt, antingen via den svenska poppelkommissionen eller SLU. – Ta fram kriterier och graderingsskalor för utvärdering/presentation av material som är användbart kommersiellt.
Hybridasp	7	7	– Behålla så många kloner som möjligt i blandning genom att effektivisera förökning av tillgängliga kloner.
Al	2	2	– Inga kommersiella plantor produceras. – Frökällor behöver skapas genom urvalet i de existerande försöken.

4. Teknik för skötsel och skörd

Teknikutveckling vid etablering och skörd av poppel- och hybridaspodlingar har inte varit ett fokusområde inom F&U under de senaste 10 åren. Vissa innovationer har tagits fram av entreprenörer involverade i plantering av större arealer i Västmanland, genom att introducera mekaniserad läggning av plasttäckning för att uppnå en bättre överlevnad och minska behovet för mekanisk rensning av ogräs mellan raderna. Tekniken har sedan använts i Litauen vid etablering av större arealer. Internationellt har tekniken för etablering och skörd av energiskog med poppel utvecklats, men inga sådana försök har genomförts i Sverige. För övrigt är det främst skördetekniken av klena stammar i skogsbruket som eventuellt kan komma att anpassas till poppel och hybridasp, främst när det gäller gallring, inte minst i en generation med ett stort antal stubb- och/eller rotskott.

4.1 Teknik för etablering och skötsel

Plantering av lövträdsplantor sker idag främst för hand. Poppel produceras mestadels som barrotsplantor medan täckrotsplantor finns framtaget för några få lövträdsarter inklusive hybridasp. Täckrot går generellt sett snabbare att plantera. Poppel kan också planteras med sticklingar, både långa och korta. Korta sticklingar upp till ca 30 cm planteras idag för hand. Sticklingar används inte för etablering av praktiska odlingar i Sverige även om vissa pilotodlingar har anlagts med sticklingar av varierande längd. Vid användning av täckmaterial för ogräskontroll (oftast tillverkat av nedbrytbar plast) strävar man efter att plantera sticklingar då detta underlättar arbete och gör etableringen billigare jämfört med plantering av täckrot. Eftersom poppel i andra länder ofta odlas som salixliknande energiskog har man på sydliga breddgrader utvecklat tekniker för maskinell plantering. Det tyska företaget Lignovis (lignovis.com) använder flera tekniker för maskinell plantering av sticklingar av bl.a. klon OP42. En utav dessa tekniker baseras på modifieringar av en salixplanteringsmaskin som använder 1,5–2,3 m långa skott och kan plantera tre rader med maximum 2,5 m avstånd eller två dubbelrader. Denna teknik används främst för att plantera poppel med ca 10 000 sticklingar per ha för skörd i korta omloppstider, ca 4–5 år men kan troligen anpassas till andra planteringsförband. Vid plantering med denna teknik kapas de långa skotten automatiskt till 20 cm långa sticklingar. I Sverige har vi ingen erfarenhet av liknande odlingssystem med poppel. Vid eventuell anpassning av existerande salixplanteringsmaskiner bör man tänka på att många poppelkloner av ren *P. trichocarpa* eller dess hybrider har stora knoppar ofta sittande på 5 cm avstånd. Det gör dessa skott känsliga för grov hantering och korta poppelsticklingar utan knoppar har dåliga odds att utveckla skott. Dessutom behöver skotten som används för inmatning av planteringsplattformen vara av tillräckligt bra kvalitet. Precis som för salix kräver denna teknik en noggrann markbearbetning motsvarande den som görs vid traditionell spannmålsodling. För plantering av ca 4 000 ($2.5 \times 1 \text{ m}^2$) sticklingar per ha kan man använda sig av "Rotor planter," en typ av maskin som simultant planterar två rader (det finns utformningar som planterar tre rader samtidigt) med 20–35 cm långa sticklingar och med 10–420 cm avstånd inom raden. Även den typen av planteringsmaskin fungerar bäst på noggrant förberedd odlingsbädd, kräver sticklingar av god kvalitet och fungerar sämre med sticklingar som har stora knoppar. Båda dessa tekniker och odlingssystem skulle vara av intresse att demonstrera i Sverige. Ytterligare en typ av planteringstillbehör som

monteras på traktor möjliggör plantering av pålar, 1–2 m långa. Denna teknik används för att plantera odlingar med ca 1 400 träd per ha och har använts framgångsrikt på marginalmarker i Tyskland, Danmark och Litauen. Fördelen med denna teknik är att beredning av odlingsbädden inte behöver vara så noggrann. Pålarna sätts till ett djup på ca 50–70 cm varvid man bryter alven och möjliggör en förbättrad rotning och tidig plantutveckling. I Sverige har entreprenörer drivit utvecklingen av marktäckning med nedbrytbar plast. Plasten är ca en meter bred och har visat sig förbättra överlevnad och den tidiga tillväxten (Hjelm m.fl., 2018; Böhlenius & Övergaard, 2015a). Metoden tillämpas på stora arealer i Litauen och kombineras med manuell plantering av sticklingar och täckrotsplantor.

Generellt sett är det alltid eftersträvänsvärt att bekämpa konkurrerande växtlighet innan plantering. Vid plantering kan man skydda mot ny vegetation, dels genom att täcka marken omkring plantan med täckmaterial som nedbrytbar plast eller papp. Det är dock vanligare att man kör med redskap mellan plantraderna, typ kultivator eller jordfräs för grund jordbearbetning eller betesputsare/slagklippare, fram till att beståndet börja sluta sig efter 3–4 år. Samtidigt gör markbearbetning marken oattraktiv för sork som på lättare jordar kan förorsaka stora skador, speciellt om räv och andra rovdjur stängs ute med nästängsel. För markägaren är det viktigt att tänka igenom radavstånd i sina odlingar utifrån tillgänglig redskap- och traktorstorlek. Det är nödvändigt med en viss teknikanpassning när det gäller mekanisk ogräskontroll i poppelodlingar eftersom detta moment är avgörande för att lyckas i etableringsfasen.

4.2 Teknik för gallring och skörd

För stamformiga träd finns idag utvecklad teknik både för slutavverkning samt gallring av klena träd på plats inom det konventionella skogsbruket. Det finns stora fördelar med det eftersom entreprenörer och maskiner finns tillgängligt över hela Sverige, vilket ger en flexibilitet för avverkningstidpunkt. Priset för skörd minskar med ökad medelstamsvolym, vilket innebär att det är positivt med äldre alternativt glesa bestånd men det är negativt om det är mycket grov kvist på träden. Priset för skotning påverkas framför allt av avståndet men också till en mindre del av medelstamsvolymen.

Skörd och skotning på åkermark eller tidigare åkermark är känsligare för dåliga markförhållanden än på skogsmark då det finns större risk för markskador. Med ett varmare vinterklimat blir det viktigt att vara flexibel när skörd och skotning ska utföras. Samtidigt begränsas denna flexibilitet något när det gäller poppel och hybridasp då den vegetativa återväxten gynnas om avverkningen sker under perioden november–april. Men det finns en tidsflexibilitet som kan nyttjas eftersom det inte gör något att vänta några enstaka år på avverkning. Av samma anledning kan det vara bra att undvika gallring på åkermarksplanteringar, särskilt vid dåliga drivningsförhållanden.

Vid odling av energiskog med poppel med 4 000 eller fler stammar per hektar behövs en skördeteknik liknande den som tillämpas i svenska salixodlingar. Eftersom systemet inte har testats i Sverige har inte heller någon teknikanpassning skett, men internationellt finns det exempel på optimeringar av en sådan skördeteknik där stammar upp till 15–20 cm kan skördas och direktflisas (Santangelo m.fl., 2015). Salixliknande systemet på uppemot 10 000 stammar per hektar skördas med samma teknik som tillämpas i svenska salixodlingar. Däremot krävs det en anpassning av tekniken till något längre omloppstider och i system där färre antal stammar, typiskt 1 600–4 000 planteras och skördas vid grövre medeldiameter. Anpassningar till grövre träd som i New Holland FR 9000 serie med

skärhuvud 130FB eller John Deere 7400 skördare med en HTM 1500 skärhuvud går oftast ut på att använda sig av kraftigare maskiner och skärhuvuden. Andra varianter av dessa skördesystem går ut på att fälla träd med en lättare maskin, låta det fällda materialet ligga och torka för att sedan samla in det antingen med en maskin som direktflisar materialet i kittlar eller skotar den fram för flisning vid avlägget. Här kan även olika bunnings-tekniker användas i samband med skörd. Dessa tekniker har inte testats på poppel i Sverige och vi vet inte heller vilka övriga egenskaper ett sådant system har. Däremot har Bergström m.fl. (2011) testat flera olika maskinsystem i bl.a. övergrov salix även om den övergrova salixen inte kan liknas med förhållanden i en poppelodling oavsett om det handlar om en första eller andra generation. I denna studie har man funnit salixskördar-system vara mer effektiva i jämförelse med system baserade på tekniker som används i tidiga gallringar, så kallade klenträdsuttag. Klenträdsuttag är ofta beroende av skörd-araggregat och tekniker för flerträdshantering. De kan utföras som en kombination med separata maskiner för skörd och skotning eller med hjälp av så kallade drivare där skörd och flisning eller skotning av utgallrade materialet sker samtidigt med en och samma maskin. Dessa tekniker har också studerats bl.a. av Sangstuvall (2018) samt Grönlund m.fl. (2015) främst i relation till tidiga gallringar i skogsbestånd. Inom ramen för Skog-forsks Effektivare skogsbränslesystem (2007–2015) där Energimyndigheten var den största enskilda bidragsgivare genomfördes ett större antal studier som syftade på att effektivisera avverkningen av klenvirke, en utveckling som eventuellt kan komma till användning för att utveckla kostnadseffektiva system för gallring eller avverkning av en andra generation poppel och hybridasp. Så har till exempel Grönlund (2018) utfört en studie i gallring i en andra generations hybridasp med flerträdshanterande aggregat där han kunde konstatera att det kommer att behövas ytterligare effektivisering i både avverkningsteknik och arbetsmetod för att uppnå lönsamhet i dessa åtgärder.

Merparten av poppelns rotsystem är ytligt, vilket kan medföra skador vid gallringen. Effekter av gallring och eventuella drivningsskador i poppel har inte alls studerats tidigare i nordisk-baltiska förhållanden. Störningar på markytan kan initiera poppel att skjuta mer rotskott (Zasadal 1981) vilket för vissa bestånd kan vara positivt, exempelvis i glesa ursprungsbestånd.

De tre trädslagen poppel, hybridasp och al producerar en ny generation efter skörd. Poppel och klibbal framför allt i form av stubbskott även om poppel kan producera stora mängder rotskott efter störning av markytan. Hybridasp och gråal skjuter framför allt rotskott. Andra generationen blir ett helt annat bestånd än det inledande planterade beståndet. Mängden skott kan bli mycket stort och kan kräva en röjningsinsats i tidig ålder även om självgallringen oftast är stor. Användbar teknik för skörd av andra generationen beror på hur länge man låter den växa. Användbar teknik är allt ifrån maskin med aggregat för att röja kraftigt sly till gallringsskördare och slutligen till vanlig skördare.

Utmaningar för framtiden 2030

Idag är odlingssystem med poppel i Sverige utformat som en odling med 1 000–1 500 träd per ha i syfte att producera grövre dimensioner och avverkas med konventionella skogs-maskiner. Planteringen sker för hand oavsett typ av planteringsmaterial. Det är dock troligt att det kommer att finnas ett behov för teknikutveckling redan med en areal-scenario 1, upp till 30 000 ha. Större arealer tenderar att effektivisera planteringen och uppnå högre överlevnad, vilket innebär att plantering med större antal sticklingar per ha kan vara aktuell. Dessa odlingar kan sedan gallras genom att anpassa och vidare-

utveckla skördeteknik utvecklad för klenträdsuttag. För poppel har dessa system inte testats i Sverige. För hybridasp har man utfört en del försök med korridorgallringar och olika tekniker att enkelställa träd i en andra generation. Dessa tekniker har hittills inte ansetts vara lönsamma och det återstår mer arbete att vidareutveckla både teknik och arbetsmetoder.

Praktisk röjnings- och skördeteknik samt ekonomiska aspekter bör utredas och utvärderas för att bäst anpassa tillgänglig teknik och för rådgivningens behov. Önskvärt vore att utveckla sticklingsteknik för poppel, både med avseende på planteringsmaskinen och på tillverkningen av sticklingar.

Teknik för skötsel och skörd	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	6	8	– Utökad plantskoleverksamhet för produktion av alla typer av plantor. – Utveckling av sticklingshantering för plantering. – Utbildning av rådgivning. – Utveckling av planteringsmaskiner som kombinerar plantering, markbehandling och tillväxt höjande åtgärder. – Utveckla kunskap om hantering av andra generationens stubbskott. – Testning av gallringsteknik i täta poppel- och hybridaspbestånd i både första och andra generation.
Hybridasp	7	8	– Hantering och skötsel av generation 2.
Al	1	2	– Produktion av gråal-plantor finns inte idag i Sverige.

5. Sjukdomar, skador och möjliga motåtgärder

5.1 Sjukdomar på poppel

De två vanligaste patogenerna, som påverkar poppelplanteringar i hela världen, är bladrost och bakteriekräfta. Speciell hänsyn behöver tas till dessa vid förädling, klontestning och kommersiell odling av poppel i Sverige.

5.1.1 Bladrost

Bladrosten, som orsakas av arten *Melampsora*, är den främsta och mest spridda och allvarligaste sjukdomen på poppel. Praktiskt taget samtliga poppelkloner är mottagliga för angrepp av *Melampsora larici-populina* som kan orsaka tillväxtförluster, ökad frostkänslighet, försenad lövsprickning, minskad vitalitet och därmed en ökad risk för angrepp av sekundära patogener.

Melampsora larici-populina tillhör de makrocykliska och värdväxlande rostsvamparna. Den producerar fem generationer sporer vilka behöver både poppel och lärk som värdträd för att fullborda sin livscykel. Bladrostsporererna övervintrar i fallna poppelläv för att på våren spridas med vind och infektera lärken. Stora mängder gul-orangea sporer produceras på lärkens barr, och fungerar som ett inokulum för infektioner av levande poppelblad, med start under våren och därefter genom hela växtsäsongen, ända tills de övervintrande sporererna produceras i slutet av sommaren. Hur omfattande angreppet på poppel blir är alltså delvis beroende av förekomsten av lärk i omgivningen.

Förekomst av *Melampsora larici-populina* bladrost har visat sig kunna variera kraftigt på popplar med olika vår- och höstfenologi, planterade i klontester i Sverige, norra Polen, Litauen och Lettland (Karacic och Samils 2017). Gradering av klonernas bladrostkänslighet under kontrollerade förhållanden i labbet motsvarande inte graderingen i fält. Denna teknik är beroende av bladrostpopulationens sammansättning och behöver utvecklas vidare.

Hittills har bladrost varit ett sporadiskt problem i kommersiella odlingar mestadels därför att OP42 är relativt tolerant och drabbas sällan hårt. Vissa år kan dock OP42 bli hårt infekterad. Träden tappar blad tidigt under sensommaren så att invintringen blir störd och kan medföra en minskad vitalitet. Även SLU:s kloner av *P. trichocarpa* som nuförtiden planteras i allt större omfattning är mottagliga för bladrost och man bör undvika att plantera större arealer med endast en klon.

5.1.2 Bakteriekräfta

Bakteriekräfta (*Xanthomonas populi*) är en extremt allvarlig sjukdom, som drabbar stam och kvistar hos alla arter av poppel. Sjukdomen angriper träd via färska skador på kvistar och stam, men också genom att angripa skadade blad. Infekterad bark blir nekrotisk och kan till slut förstöra kambiet. Utbuktningar på grenar och stam svartnar, spricker och insjunkna områden i barken kan utsöndra bakterieslem under kalla, fuktiga perioder. Blad som sitter på de små skotten nära stamsprickorna kan utveckla svartnande nekrotiska

områden, som senare dör. Även deformationer på huvudstammen kan uppstå, som oregelbundna sprickor eller som grova barkansamlingar. Ved som infekterats av bakteriekräfta förlorar mycket av sitt timmervärde, och kan t.ex. inte användas till faner, eller någon annan typ av mekaniskt behandlat material. Bakteriekräfta kan spridas i vattendroppar med vinden, med redskap, insekter och andra djur. Eftersom bakteriekräfta i första hand sprids till nya områden (regioner och länder) genom transporter av infekterat planteringsmaterial, är det viktigt att känna till distributionsvägarna för sjukdomen, och begränsa transport och material från smittade områden. Kontroll över smittan uppnås bäst genom att plantera resistent poppelkloner.

5.1.3 Trädförädlingens roll för att minska risken för skador

Det finns en stor genetisk variation i popplarnas resistens/tolerans, både mot bladrost och bakteriekräfta. De här anlagen är starkt genetiskt kontrollerade, vilket innebär goda möjligheter för genetiskt urval för att ta fram resistent/tolerant kloner. I andra delar av Europa (Belgien, Holland och Frankrike), där poppel är vanligt förekommande trädslag i kommersiellt bruk, har stora ansträngningar gjorts för att hitta hel- eller kvalitativ resistens mot olika sjukdomsstammar av bladrost. Idag görs insatser för att hitta partiell (kvantitativ) resistens mot alla stammar/genotyper av skadesvampar, så att utvalda kloner kan utsättas för skadesvampar utan att riskera någon påtaglig skada eller tillväxtminskning. Sådana förädlingsinsatser, där resistent föräldrar korsas, och där nedärvd resistens till avkomman valideras, är en metod för att producera kloner med ökad resistens, som sedan kan väljas ut och användas för kommersiell odling. Däremot återstår problemet med att nya stammar av bladrost kontinuerligt fortsätter att utvecklas, vilket gör att det kan vara svårt att behålla resistensen över tid. Det blir därför extra viktigt att inte selektera för resistens utan för tolerans mot angreppen.

En viktig del i förädlingsarbetet är därför att regelbundet testa resistensen mot svampangrepp hos poppelmaterialet. SkogForsk har utvärderat resistensen mot bladrost och bakteriekräfta på 38 poppelkloner, inklusive 12 av de 13 kloner som används kommersiellt i Sverige (Stener & Westin 2015). I studien framkom att endast 5 av de 12 testade kommersiella klonerna hade en acceptabel resistens. Resultatet visar hur viktigt det är att upprätthålla tester och urval av nyligen framtagna poppelkloner, för att behålla resistent egenskaper mot flera olika skadegörare.

5.1.4 Aspskorv

Venturia macularis är en svampsjukdom som påverkar yngre träd, och leder till att blad och unga skott insjuknar strax efter att knopparna slagit ut. När svampen angriper huvudskotten, bildas en brun eller svart bladprick, som sedan växer i storlek och expanderar genom bladskäftet och in i skottet, vilket leder till att både skottet och skottspetsen svartnar. Sjukdomen brukar kallas för tvinn- och vissnesjuka på svenska, eller "shepherd's crook" på engelska. De flesta infekterade bladen lossnar med tiden, men svampen stannar kvar och övervintrar i de infekterade skotten. Unga träd som växer i täta bestånd påverkas ofta i större skala.

5.1.5 Phytophthora

I Sverige, utgör den invasiva växtskadegöraren *Phytophthora* ett ökande hot, både mot tätortsnära- och produktionsskog. Det har hittills inte gjorts några undersökningar om

skador orsakade av *Phytophthora* på poppel i Sverige. Däremot har kontrollerade labbförsök visat att flera arter av *P. trichocarpa* uppvisat högst känslighet för de tre vanligaste *Phytophthora*-skadegörarna på lövträd i södra Sverige (Cleary m.fl. 2017). Vetskapen om detta bör särskilt beaktas av plantskolor, där naturliga vattenkällor används vid bevattning, eftersom dessa kan fungera som en depå för sporer.

5.2 Sjukdomar på hybridasp och al

Hybridasp anses inte vara mer känslig för frost och annan biotisk påverkan än andra sorters popplar. Däremot kan planteringar drabbas av svampangrepp som orsakar stamkräfta (*Entoleuca mammata*) och grenkräfta (*Leucostoma niveum*stem).

5.2.1 Stamkräfta orsakad av *Entoleuca mammata* och *Cytospora nivea*

Entoleuca mammata (tidigare *Hypoxylon mammatum*) är en vanlig typ av stamkräfta på hybridasp. Allvarliga angrepp uppmärksammades på 1950-talet, vilket gjorde att intresset för hybridasp svalnade. Det har senare visat sig att angreppet från den tiden troligen berodde främst på att hybridasp planterades på mindre lämpliga lokaler (Stener & Stenlid, 2001). Infektioner uppstår genom att vindspridda sporer, vid fuktigt väder når skadad bark. Kräftan visar sig till en början som gula, eller orangea, något insjunkna, barkområden på nedre delar av stammen, eller på grenarna. Med tiden sprider den sig mer i lodrät riktning än horisontellt och förstör bark och kambium. Träden försvarar sig genom att bilda förhårdnader runt det angripna kambiet. Efter en tid uppträder kräftan som en grov och sprucken barkformation, vilket kan leda till att stammen växer krokigt, och så småningom börjar veden brytas ned. Svampen kan leva som nedbrytare på lågor och kan där producera nya sporer, som i sin tur kan infektera nya träd flera år efter att det ursprungliga värdträdet dött.

Cytospora nivea (tidigare *Leucostoma niveum* och *Valsa nivea*) (Wang m.fl. 2020) kan orsaka kräfta och partiellt döda delar av aspträd, samt andra lövträd och buskar. *Cytospora nivea* anses vara en opportunistisk patogen, som kan kolonisera stammar och grenar som har skadats eller försvagats av andra orsaker. Kräftan uppträder som insjunkna, gulbruna eller svarta och avlånga märken på grenar, stammar eller kvistar. Svampen övervintrar som mycel i infekterade kvistar, knoppar eller stammar. Sporererna produceras över växtsäsongen i strukturer som ligger inbäddade i infekterade växtdelar. De angriper sin värd genom naturliga öppningar (t.ex. knoppar och korkporer) och andra sår som kan ha uppstått av mekanisk, abiotisk eller biotisk skada. Liksom många perenna kräftsvampar fortsätter *C. nivea* att kolonisera vävnad medan värden är inaktiv, medan värden försöker begränsa infektionerna under växtsäsongen.

I en studie som innefattade 280 hybridaspkloner, 11–16 år gamla, vid 10 genetiska försök i södra Sverige, observerades en stor variation av skador som orsakats av stam- och grenkräfta. Totalt 1–19 % av klonerna var skadade, men inga träd dog (Stener och Karlsson 2004). Innan försöket, valdes försökskloner med goda växtanlag ut, t.ex. med avseende på stamkvalitet. Urvalet gjordes i syfte att ta fram ett material som skulle vara mindre mottagligt för kräftskador. Ett problem är att stressade träd kan vara mer känsliga för angrepp. Odlingmetoder som främjar trädens livskraft i planterade bestånd kommer i framtiden ytterligare öka trädens motståndskraft mot skador av *E. mammata*.

I den ovan nämnda studien av Stener och Stenlid (2001) ympades *E. mammata* på grenar av 9-åriga träd. Studien omfattade 20 utav Ekebos hybridaspkloner med syfte att urskilja kloner med högre, respektive lägre mottaglighet för svampen. Dock var resultaten otillräckliga, och bättre sållningsmetoder behövs för att upprepa klonkänslighetstester i framtiden.

Hybridaspens resistens mot stamkräfta har också undersökts inom Skogsforsks odlings- tester av (Stener m.fl. 2015). I det utvärderade materialet kunde 5 av 64 testade kloner av hybridasp sorteras bort på grund av känslighet mot kräfta. I förädlingsarbetet är tillväxten i ungdomsfasen ett viktigt kriterium för urvalet. Eftersom det tar tid innan symptomen från svampangrepp utvecklas finns det ett behov av att kunna följa förädlingsförsök under en längre tid (Stener & Karlsson 2004).

5.2.2 Knäckesjuka

Vår vanliga asp (*P. tremula*) är en alternativ värd för den makrocykliska och värd- växlande rostsvampen *Melampsora pinitorqua* som åsamkar skada på unga tallar. Eftersom skadornas storlek delvis påverkas av förekomsten och mottagligheten hos en alternativ värd gjordes försök för att utröna de relativa infektionstalen hos asp och hybridasp (Kassfeldt, 2009). Resultaten visade emellertid att hybridaspens blad infekter- as av *M. pinitorqua* i mycket lägre grad jämfört med den inhemska aspen. En mer omfattande odling av hybridasp för produktion av biomassa i framtiden, skulle troligtvis inte förvärra problem med knäckesjuka.

5.2.3 Andra biotiska faktorer

Andra nämnvärda sjukdomar som orsakar skada i mindre utsträckning på unga aspar inkluderar aspskorv (*Venturiand macularis*), aspglansbagge (*Chrysomela populi*) och större- och mindre aspvedsbock (*Saperda carcharias* respektive *S. populnea*). Stamskador från biotiska källor leder i de flesta fall till stamröta, något som blir mer framträdande på äldre träd. Skador av aspglansbagge kan ibland ha kännbar ekonomisk effekt både på poppel och hybridasp genom att tidigt på våren slå ut nyetablerade odlingar. Problemet är vanligt i skogslandskap.

Information om vilka skador som kan ha betydelse vid praktisk odling av gråal är mycket begränsad. I en sammanställning om alen nämns bland annat att alsläktet kan drabbas av grentorka och rostsvampar (Rytter m.fl. 2014). *Cryptosporella suffusa* kan orsaka gradvis döende grenar och kräfta hos stressade alar. *Phellinus igniarius* och *Fomes fomenatrius* orsakar vitröta i kärnveden hos levande och döda lövträd.

Allövbagge (*Agelastica alni*), som ingår i familjen *Chrysomelidae*, kan ibland orsaka skador på allöv. Flera *Phytophthora*-patogener angriper rötter och nedre delar av stammen på al, däribland de tre underarterna av *P. alni* (*P. alni alni*, *P. alni uniformis* och *P. alni multififormis*). Av dessa är *alni* och *uniformis* de vanligast förekommande i Sverige (Redondo m.fl. 2015), men andra mer aggressiva arter av *Phytophthora*, inklu- sive *P. plurivora* har isolerats från blödande kräftangrepp på stammar. *Phytophthora* arter, sprids vanligen genom vattendrag, ex. åar och bäckar, och via transporter med infekterat material från plantskolor. Därför är det viktigt att försiktighetsåtgärder vidtas, både vid odling och transport av plantmaterial. Hittills har den mest aggressiva under- arten endast påträffats i södra Sverige, men det finns risk för att den kan spridas norrut

med ett varmare klimat (Redondo m.fl. 2015). Om det i framtiden görs en större satsning på förädling av gråal finns det större möjligheter att följa skadebilden under kontrollerade förhållanden och att agera utifrån det vid urvalet.

Phyllocnistis labyrinthella är en mal i familjen styltmalar (*Gracillariidae*), som finns i större delen av Europa. Larven äter sig fram i en gång inuti bladskivan, men de skador som rapporterats i Sverige kan räknas som relativt obetydliga.

5.3 Abiotiska skador

Poppel och hybridasp drabbas främst av frost när man planterar kloner som inte är anpassade till lokala klimatförhållanden. Torskskador förekommer sällan i vårt klimat men under etableringen kan torra perioder skada plantorna. Under sommaren 2018 noterades det att träden blev skadade av torkan men överlevde. Hur denna torra sommar påverkar tillväxten är idag inte känt. Plantering av poppel på blöta lokaliteter med stående vatten kan resultera i hög plantdödlighet.

5.3.1 Frostskaador

Frostskaador för poppel och hybridasp uppkommer mestadels som ett resultat av klonernas bristande anpassning till det lokala klimatet. Samtidigt är det viktigt att de kloner som planteras kan utnyttja en större del av odlingssäsongen, vilket generellt leder till högre tillväxt men också kan resultera i en högre risk för skador orsakade av en tidig ankomst av höstfrost. De planterade klonernas höstfenologi (när de slutar växa på hösten) är därmed avgörande för deras klimatanpassning (Karacic m.fl., 2021; Adler m.fl., 2021; Böhlenius m.fl., 2006). För att optimera produktion samtidigt som man minskar risker för frostskaador behöver vi både förädlingsinsatser och noggrann testning av kloner samt tydliga rekommendationer för odling av kommersiella kloner inom olika odlingszoner. Vår frost kan också orsaka vissa skador på poppel, särskilt på kloner med en tidig knoppsprickning. Detta är också högt ärftligt men styrs troligen av andra gener än vad som är fallet med knoppsättning och andra processer relaterade till tillväxtavslut. Därmed är det möjligt att förädla separat för vår- och höstfenologi och detaljanpassa popplarnas fenologi till ett visst klimat (Richards, m.fl., 2020).

Europeiska poppelkloner med sen höstfenologi löper avsevärd risk att drabbas av frostskaador. Inadekvat knoppsättning och invintring hos dessa kloner leder till ytterligare frostskaador under vinterns kalla månader. Plantorna är känsligast under etableringsfasen då risken för ekonomiska skador är som störst. Våra erfarenheter av klonen OP42 visar att risken ökar successivt vid dess förflyttning norrut (den nordligaste odling finns på 60 breddgraden). På dessa breddgrader finns dock andra kloner som ger betydligt högre odlingssäkerhet och är även bättre biomassaproducenter än OP42 (Adler m.fl., 2021).

I en direkt jämförelse (Karacic & Adler, manuskript) inom ett försök utanför Uppsala mellan europeiska kommersiella kloner och SLUs nya *P. trichocarpa* material visade sig att endast några få europeiska kloner kunde överleva. Överlevnadsgraden och tillväxt under de första tre åren kunde tydligt relateras till tidpunkten för klonernas knoppsättning. Det är viktigt att betona att frostskaador uppkommer lättare på vissa, geografiskt lågt placerade lokaliteter, särskilt på torv- eller andra organogena jordar. Både poppel- och hybridasp kan lida av svårigheter med att invintra på dessa lokaliteter och drabbas av

frostskador långt in i växtsäsongen. På sådana marker blir frostskador en primär faktor som leder till en komplicerad skadebild där ogräskonkurrens, högt stående grundvattennivå, sorkgnag och betning samverkar för att göra etablering av poppel och hybridasp till ett nästintill omöjligt företag.

Gråalen anses vara ett relativt frosttåligt trädslag som är väl anpassat till boreala förhållanden (Rytter 1996). Test av hårdigheten inom olika geografiska områden är en viktig del av förädlingsarbetet.

5.3.2 Torkskador

Kunskapsläget för hur perioder av torka påverkar poppel, hybridasp och al är idag dåligt. Dock är kraftiga torkskador ovanliga och risken för stora skador är som störst vid etableringssteget då perioder med försommartorka kan förekomma. Sommaren 2018 var mycket torr i hela landet med ingen eller liten nederbörd. Trots detta så visade etableringsförsök på skogs- och åkermark normal överlevnad vid plantering (Böhlenius opublicerade resultat). Preliminära resultat indikerar att olika typer av planteringsmaterial kan vara olika känsliga för torkskador under planteringsåret. I ett försök på skogsmark i Uppland har korta sticklingar till exempel haft låg överlevnad vid försommartorka. Utöver detta så noterades det att vissa hybridaspkloner var tydligt påverkade av torkan under 2018 hos försök planterade i Halland, men detta var tydligast för kloner som inte ingår i det kommersiella materialet. Samma år kunde man utvärdera överlevnaden i ett välutvecklat femårigt försök med OP42 och SnowTiger kloner på sandmark i Halland. Här har dödligheten i OP42 varit betydligt större än i SnowTiger. Alla dessa observationer av vad som antas vara effekter av torkan saknar dock en teoretisk förankring, vilket kräver att mer kontrollerade studier av torkans effekt på poppel och hybridasp utförs framöver. En ökad dödlighet under långa torkperioder är ett potentiellt framtida problem i ett förändrat klimat.

Dödligheten kommer dock förmodligen att bli ett mindre problem jämfört med ekonomiska förluster orsakade av minskad biomassaproduktion. En minskad diametertillväxt uppmätt i våra försök kan tydligt relateras till sommartorkan 2018 och har tidigare registrerats i poppel och hybridaspodlingar för åren med torra somrar (Karacic m.fl., 2003). Höjdtillväxten behöver inte påverkas nämnvärt under torra år, vilket indikeras av mätningar i våra litauiska försök. Året efter blir tillväxten koncentrerad till utveckling av sidoskott och höjdtillväxten minskar betydligt. Liknande observationer rapporteras för Sverige i ett examensarbete (Alexandru 2020).

5.3.3 Betes- och fejningsskador

Betes- och fejningsskador utgör ett hinder för odling av poppel och hybridasp. Idag rekommenderas inhägning av både poppel och hybridasp (Rytter m.fl., 2011; Persson m.fl., 2015). Vid storskalig odling enligt scenario 2 och 3, med 200 000 till 700 000 ha, är stängsling av merparten av odlingar inte realistisk. Dels är acceptansen hos allmänheten för uppsättning av inhägnader väldigt låg, särskilt på skogsmark, och dels är inhägnaden dyr att sätta upp, underhålla och avveckla. Inhägning av stora arealer skulle också påverka negativt viltets möjlighet att vandra fritt i landskapet samt allmänhetens möjligheter till rekreation. Det är ett avsevärt problem när det gäller dagens rekommendationer till poppelodlarna att vi inte kan uppskatta risker för betesskador vid utebliven inhägnad eftersom det finns en betydande variation mellan enskilda år och lokaliteter. Därmed står

odlaren inför ett dilemma där avvägningen måste göras mellan en dyr investering och en osäker och svårbedömd effekt av betes- och fejningsskador. Generellt sett, så är kunskapen om hur man skall minska betes- och fejningsskador ganska dålig underbyggd även om en del försök har gjorts under de senaste åren. Resultaten från studier av fyra olika kemiska repellenter och två mekaniska skydd visade att det inte var möjligt att urskilja några skillnader mellan olika typer av skydd. Däremot fanns det skillnader i överlevnad och skador mellan skyddade och oskyddade plantor (Karacic, 2016, rapport till Energimyndighetens projekt 36102-1). Dessa skydd har hittills inte tillämpats på poppel eller hybridasp i praktisk skala. Resultat från kontrollerade försök (Böhlenius, 2016, projekt från Energimyndigheten) visar också att poppel betas i mindre grad än hybridasp, resultat som bekräftar erfarenheter från praktiken. Denna undersökning antydde också att det kan finnas tendenser att vissa kloner skadas i mindre omfattning än andra, men resultaten tillåter inga konkreta rekommendationer. En inventering av kommersiella planteringar från 2015 (Jönsson, 2015 examensarbete) bekräftar våra senare observationer att mindre planteringar har mer skador och att plantor i kantzonerna är mer utsatta än plantor inne i en plantering. Däremot kunde man inte hitta någon samband mellan skadebilden och viltpopulationens storlek.

Åtgärder för att minska skadorna kan bestå av 1) inhägnader av hela odlingar, 2) mekaniska skydd av enskilda plantor, 3) kemiska repellenter, 4) plantering av mindre viltbegärliga arter eller kloner 5) plantering av kloner som tillsammans med intensiv skötsel i etableringsfasen har en förmåga att snabbt återhämta sig efter betning – betningstoleranta odlingssystem. Etablering av tåligt, snabbväxande material under intensiv markberedning och ogräskontroll framstår också som förmodligen den mest kostnadseffektiva åtgärden men vi vet inte hur detta fungerar i praktiken.

Studier av etablering med olika typer av planteringsmaterial tyder på att klenare plantor och korta sticklingar tenderar att ha en lägre överlevnad jämfört med mer robust planteringsmaterial (Hjelm m.fl., 2018). I en omfattande studie (Karacic m.fl., manuskript) där man testade många olika typer av planteringsmaterial har endast korta sticklingar haft avsevärt högre dödlighet på grund av betes- och fejningsskador.

Viltskadeproblem är mycket mer allvarliga för hybridasp då den släta barken kan fläkas även på träd 10 år gamla och äldre. För att skydda planteringarna kommer behovet av hägn att finnas under hela omloppstiden och även under nästa odlingsgeneration. Därmed utgör viltskadeproblematiken ett mycket stort hinder för införandet av scenario 2 och 3 där hybridaspodlingar förväntas ha en betydande arealandel. Al är det trädslaget som har minst tendens att betas och behöver inte skyddas vid odling.

5.3.4 Sorkskador

Skador av sork (åkersork och vattensork) kan vara omfattande under vissa år och på vissa lokaliteter. Problematiken är dock inte speciell för poppel och hybridasp utan gäller även många andra trädslag. Skadorna kan uppträda i miljöer som är gynnsamma för stora sorkpopulationer på mark med lättare textur eller organogena jordar, ofta i närheten av diken och med riklig markvegetation. Skadorna är svåra att förutsäga och varierar med sorkarnas populationsdynamik och ibland kan åkersorken orsaka förödande skador på stora arealer och även på stora träd. Våra kunskaper om sambanden mellan sorkskador, klimat och andra lokala förhållanden är idag dåliga med avseende på poppel- och hybridasp skador.

Vid normala gnagarpopulationer kan mekaniska skydd ge ett bra resultat men fördyrar etableringen avsevärt. I en randomiserad studie av plastskydd på olika typer av sticklingar och pålar planterade på organogen mark med en ständigt hög sorkpopulation i norra Uppland (Karacic, 2016, rapport till Energimyndighetens projekt 36102-1) har man kunnat konstatera att grövre material (pålar) hade mycket högre överlevnad än klenare material och att skyddade sticklingar hade betydligt högre överlevnad än oskyddade. Så var till exempel överlevnad i oskyddade, 80 cm långa, ettåriga sticklingar endast 20 % efter fyra år medan skyddade tvååriga pålar, ca 2 m långa, hade en överlevnad på mer än 90 %.

Utmaningar för framtiden 2030

Viltskadeproblematiken utgör en allvarlig flaskhals för alla tre arealscenarion samtidigt som dess framtida omfattning är svårbedömd. I dag utgör stängsling den enda beprövade metoden att effektivt minska skador från betande djur. Effektiviteten hos kemiska repeller har inte studerats i någon större omfattning men man kan utgå ifrån att det är fullt möjligt att utveckla kostnadseffektiva metoder för deras applicering. När det gäller hybridasp ligger utmaningen i att behov av hägnaden kvarstår länge under rotationen eftersom älgskador förekommer även på äldre träd. Det finns dock odlingar av hybridasp på skogsmark som klarat sig bra även efter att man tagit bort hägnaden efter några år. Detta inger hopp om att skadorna eventuellt kan bli mindre allvarliga i stora planteringar och på platser med riklig förekomst av naturligt lövsly. Här kommer även utveckling av nya mekaniska skydd vara en framkomlig väg men ett långsiktigt förädlingsarbete för att ta fram odlingsmaterial med grövre barkstruktur som minskar älgens benägenhet för barkfläkning kan också vara en framkomlig väg.

Poppel behöver inte skyddas hela omloppsperioden och en ökning av arealer enligt alla tre scenarion förutsätter att man kan åstadkomma goda resultat med betningstoleranta odlingssystem. Identifiering av betningstoleranta kloner kan vara ett viktigt moment, särskilt om dessa egenskaper kan upptäckas tidigt inom testningsfasen eller om man kan identifiera tillväxtegenskaper som medför betningstolerans, dvs, plantans förmåga att återhämta sig efter betningsskador. En annan framkomlig väg är att öka kunskaper om popplarnas och asparnas kemiska försvarsmekanismer mot bete med hjälp av sekundära metaboliter, som potentiellt kan minska betespåverkan från vilt. Studier från andra delar i världen har kopplat en ökad koncentration av monoterpener till minskat viltbete (Russell, 2008). Liknande undersökningar behövs för att utforska fenotyp tekniker, inklusive infraröd- eller ramanspektroskopi, vilket nyligen har visat sig kunna skilja på mottagliga och resistenta fenotyper. Den sortens snabba teknik för fenotypklassificering, har potential att användas vid urval av nya kloner som kan planteras direkt i produktionsplantager eller ingå i förädlingsprogram.

Plantans vitalitet är troligtvis viktig för att klara av viltbetning. Därför måste vi bättre förstå hur interaktionen mellan poppelkloner och skötselmetoder påverkar plantornas betningstolerans och kommunicera denna kunskap till rådgivare och odlare. Det måste också ske en vidare utveckling av metoder för samplanering av olika trädslag för att minska skador av huvudträdslaget. En möjlighet för att etablera hybridasp skulle kunna vara genom att i poppelodlingar plantera skyddade hybridaspplantor. I första omloppstiden blir huvudträdslaget poppel och i andra hybridasp som tilläts dominera beståndet via sitt rikliga rotskottuppslag. En annan utmaning är att öka kunskapen om viltets födovalpreferenser, och nyttja denna kunskap för att minska betesskador.

Både poppel och al är väldigt känsliga för olika *Phytophthora*-patogener. Därför krävs långtgående försiktighetsåtgärder, särskilt i sådana plantskolor där bevattningen är beroende av lokala vattenflöden. Alla tre trädslag är mottagliga för sådana patogena angrepp som kan orsaka röta och deformationer på stammen, vilket minskar tillväxtvolymerna och värdet på timret. Den exakta kostnaden för sådana förluster har aldrig uppskattats. Fler inventeringar behövs för att uppskatta hur pass mycket angreppen påverkar både träd och bestånd. Användandet av nya icke-förstörande metoder, som baseras på tomografi möjliggör upptäckter och kvantifiering av röta i träd.

Möjligheterna att undvika frostsador är idag goda om man följer de rekommendationer som finns. Här kommer utmaningen vara att utbilda rådgivare om olika kloners klimat-anpassning och detta är ett mycket viktigt steg för alla tre arealscenarion.

Förståelse för hur torra perioder, som en del av ett förändrat klimat, påverkar snabbväxande lövträds vitalitet, produktionsförmåga och återhämtning kommer att vara viktiga för uppskattningen av dessa trädslags framtida potential. På samma sätt kommer även trädens mottaglighet för infektioner av skadegörare och patogener att påverkas. Flera av dessa som kortfattat beskrivits och nämnts kan mycket väl orsaka mer omfattande skador i framtiden. Många skadesvampar kan fortleva i en latent fas tills träden är tillräckligt stressade, så att en ökad abiotisk stress leder till mer frekvent förekomst av svampsjukdomar. Ytterligare ett antal skadegörare och patogener på poppel och hybridasp finns utanför Sveriges gränser. Det behövs därför insatser, dels för att förhindra, men också för att med hjälp av snabba DNA-sekvenseringstekniker, upptäcka och förhindra nya invasioner av potentiella patogener.

Sjukdomar, skador och möjliga motåtgärder	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	4	5	– Utveckla betningstoleranta odlingssystem (1,2,3). – Identifiera vilka egenskaper och skötselmetoder som enskilt eller i kombination ökar betningstolerans (1,2,3). – Integrera selektion mot betning i förädlingsarbetet (2,3). – Analysera hur stamskador påverkar biomassans kvalitet för olika ändamål (1,2,3). – Öka förståelse för praktisk betydelse av virulensen hos olika stammar av <i>M. larici-populina</i> (1,2,3). – Undersöka hur lärkbestånd, den alternativa värdväxten, påverkar virulens och genetisk variation hos <i>M. larici-populina</i> (1,2,3). – Utveckla robusta metoder för gradering av bladrost och stamkräftor under kontrollerade och naturliga förhållanden. – Utveckla metoder för storskalig identifiering av betesresistenta eller toleranta genotyper genom nya tekniker så som handhållen spektroskopi (2,3). – Utbildning av rådgivare av metoder som minskar betning (1,2,3). – Utforska möjligheterna för arthybridisering som minskar betesbenägenheten (1,2,3). – Öka förståelsen för hur samplanering med olika träddarter fungerar och påverkar betesmönster (1,2,3). – Öka kunskapen om hur klimatförändringar kan påverka vitalitet och produktion (1,2,3). – Öka kunskapen om framtidens hot, inklusive insekter och sjukdomar som idag inte finns i Sverige (1,2,3). – Olika typer av mekaniska och kemiska plantskydd.
Hybridasp	4	5	– Ökad kunskap om röta vid upprepade avverkning av rotskottsuppslag (1,2,3). – Ökad kunskap om bete i ett landskapsperspektiv – har träslagssammansättningen i landskapet betydelse för betesskadorna och kan beståndsstorleken ha inflytande på skadebilden (1,2,3)? – Utveckla metoder som utnyttjar hybridaspens rikliga rotskottsuppslag för att etablera bestånd utan hägn (2,3). – Utveckla icke-destruktiva metoder för att detektera nedbrytning av ved i träd (2,3). – Öka kunskapen om framtidens hot, inklusive insekter och sjukdomar som idag inte finns i Sverige (2,3). – Utveckla mer robusta metoder för identifiering av mottagliga kloner genom mottaglighets tester, upprepa tidigare experiment där resultaten var otydliga samt inkludera mera plantmaterial (2,3). – Utveckla metoder för storskalig identifiering av betesresistenta och toleranta genotyper så som med handhållen spektroskopi (2,3).
AI	1	1	– Öka kunskapen om framtidens hot, inklusive insekter och sjukdomar som idag inte finns i Sverige (2,3). – Behov av fler fälttester med uppföljning av ev. skador för olika odlingsmaterial (1,2,3).

6. Klimat- och miljöpåverkan

Odlingssystem med snabbväxande lövträd bidrar till flera av FN:s mål för hållbar utveckling (SDG), särskilt: SDG 2: noll hunger; mål relaterat till hållbara jordbruksmetoder samt Sveriges självförsörjande, SDG 6: rent vatten för alla, SDG 7: hållbar energi för alla, SDG 8: anständigt arbete och ekonomisk tillväxt, SDG 9: hållbar industri, SDG 12: hållbar produktion och konsumtion, SDG 13: klimatåtgärder och SDG 15: liv på land. Trots denna miljö- och samhällsnytta är odlingssystem med poppel, hybridasp och gråal inte inkluderade i jordbrukets stödsystem (Jordbruksverket 2021). Förgröningsstöd omfattar inte odlingssystem med snabbväxande poppel, hybridasp och al trots att det finns vetenskapliga studier som visar att dessa produktionssystem främjar ekosystemtjänster på landskapsnivå: kolinlagring och upptag av näring för att hindra övergödning. Dock finns det relativt få studier som redovisar klimat- och miljönyttan med dessa trädslag. Nedan följer en sammanfattning av dessa.

6.1 Systemanalyser och energibalanser

Snabbväxande trädslag har en högre energieffektivitet jämfört med ettåriga energi-grödor (Börjesson 2016). Porsö och Hansson (2014) genomförde en LCA studie för pelletsproduktion baserad på biomassa från *Salix*- och poppelodlingar. Deras slutsatser var att användning av pellets producerade från denna biomassa skulle ha en kylningseffekt på klimatet i ett hundraårigt perspektiv jämfört med användning av kol för samma ändamål. Kylningseffekten (negativ CO₂ balans) beräknas tillkomma som ett resultat av en ökad kolinlagring i biomassan och i marken. Poppelodlingssystem som beskrivs i Porsö och Hansson (2014) är utformade med 2 500 träd per ha, omloppstider på 10 år och med en hög produktion på närmare 13 ton torr biomassa per ha och år. Denna studie visar på en nettoenergitillskott på 212 GJ per ha och år med en energibalans på ca 11. Den relativt låga energibalansen kan förklaras med att energiinsatser för pelletsproduktion och transport motsvarar energiinsatser inom produktion, skörd och transport av den färska biomassan.

Nordborg m.fl. (2018) har analyserat energi- och massbalanser för poppelodling med 1 350 träd per ha i en 24-årig rotation där hela träd skördas konventionellt och flisas i fält för förbränning i kraftvärmeverk. Denna analys relaterar direkt till det faktum att poppel och hybridasp inte odlas i korta omloppstider i Sverige och förväntas ge en annan energibalans jämfört med de europeiska energiskogssystem med poppel. Det årliga nettoenergitillskottet var mellan 180 och 190 GJ per ha med en energibalans på ca 33. Här har författarna räknat med energiinnehåll i biomassan per torr vikt och inte tagit konverteringsförluster med i beräkningen. Det antagna odlingssystemet i denna studie är baserat på ett högt stamantal över en lång omloppstid, något som inte har studerats i praktiken. Det är dock mycket troligare att merparten av sådana poppelodlingar sköts genom en gallring i åldern 10–16 år, dels för att främja diameterutvecklingen och förbättra ekonomin vid slutavverkning, och dels för att odlaren skall ha flexibiliteten att sälja biomassan på en mer lönsam marknad än vad marknaden för bränsleflis har varit under senaste decenniet.

En systemanalys med poppel som inkluderar gallring över två omloppstider (25 + 20 år) har studerats i ett nyligen avslutat projekt i samarbete mellan SLU Institutionen för växtproduktionsekologi och Institutionen för organisk kemi vid Stockholms universitet (Samec 2021). Energi- och massbalanser beräknades utifrån målet att förädla bioråvaran till textilmassa och bioolja. Produktionen beräknades uppgå till mellan 9 och 10 ton per ha och år och energitillskottet hade liknande värden som i tidigare studier, ca 170 GJ per ha och år (för den totala skördade biomassan) medan balansen mellan insatt primärenergi och energiinnehåll i torr biomassa var ca 40. Eftersom den här värdekedjan syftar till att producera textilmassa och bioolja av lignocellulosa i stamdelen blir endast 6 ton lignocellulosa per ha och år tillgänglig för katalytisk fraktionering. Processen genererar 2,4 ton textilmassa och 1 m³ biobränsle per ha och år med en energiinnehåll som uppgår till 40 GJ. Hela värdekedjan antas kräva 47 GJ energi med ca 70 GJ överskottsenergi per ha och år. Detta är ett exempel på värdekedjor vars nytta, klimat- och miljöeffekter behöver studeras och jämföras i ett bredare perspektiv. Idag används poppel och asp (hybridasp) endast i en mindre omfattning tillsammans med andra lövträdsdrag för produktion av textilmassa i södra Sverige. Globalt sett, skulle en mer omfattande användning av snabbväxande trädslag inom processer där man producerar både textilmassa och flytande bränslen innebära stora fördelar, bland annat genom att minska konsumtionen av bomull i norra Europa och öka produktionen av textilier från inhemsk råvara. Ett sådant scenario är beroende av globala socioekonomiska förhållanden och ligger utanför ramen för diskussion i denna syntes.

I ett projekt inom EU LIFE-programmet som medfinansieras av Energimyndigheten, pågår just nu arbete med att genomföra en livscykelanalys av odlingssystem med poppel som gödslas med slampellets (Karacic 2018). Slampelletsen kan användas för direktförbränning eller för gödsling av poppelodlingar. Uppskattningar av gödslingseffekten för biomassaproduktion är den stora osäkerhetsfaktorn här men preliminära resultat tyder på att energibalansen inte behöver vara mer fördelaktig jämfört med direkt förbränning av slampelletsen.

Snabbväxande trädslag kan ha påtagliga effekter när det gäller utsläppen av växthusgaser beroende på vilka marker de odlas på. Att odla poppel på organogena jordar som dikas kan medföra stora utsläpp samtidigt som odling av poppel och hybridasp som en mellanrotation på skogsmark kan korta ner perioden med CO₂ utsläpp från skogshyggen. Studier om potentiella klimateffekter av snabbväxande trädslag på olika typer av marker och inom ramen för olika värdekedjor har hittills varit grova och begränsade till jämförelser med ettåriga energigrödor. Här behövs det mer forskning som ska ligga till grund för framtida avvägningar vid utformningen av strategier för markanvändning.

6.2 Kolinlagring och andra effekter på mark

6.2.1 Hybridasp och poppel

Kolinlagring i marker med snabbväxande lövträd har varit i fokus i forskningsprojekt under de senaste 10 åren. Dessa studier sträcker sig över en kort tidsperiod på 5–8 år. Markkol (C) hade inte förändrats i fyra försök i södra Sverige med hybridasp, poppel och *Salix* efter 5 år från plantering (Rytter 2016). Samma studie visade att den totala N-poolen i matjord (0–30 cm från markytan) hade ökat i *Salix*-odlingarna, medan den totala P-poolen hade minskat i jordar som planterats med popplar eller hybridasp. Vidare, observerades omfördelning av NH₄-N, K och Mg från 10–30 cm till övre lager på 0–10 cm genom upptag via rötter och mineralisering av bladförna för både *Salix*- och hybridasp/poppelplantager.

En studie som analyserade markkol (C) och kväve (N) 5 och 15 år efter plantering av hybridasp i Estland, visade att markkol och kväve minskade i matjord om hybridasp var etablerad på gräsmarker, medan inga ändringar registrerades i matjord om hybridasp var etablerad på åkermark (Lutter m.fl. 2016). Oförändrade C- och näringsförråd och omfördelning av $\text{NH}_4\text{-N}$, K och Mg från 15–30 cm lager till 0–15 cm observerades också efter 8 års tillväxt i ett bestånd med hybridasp från rotskott efter skörden av den första generationen (Rytter och Rytter 2018).

När C-koncentrationer i matjord (0–20 cm) av poppelplantager mellan 10 och 20-års ålder jämfördes med angränsande åkermark i centrala och södra Sverige, hittades inga skillnader (Dimitriou och Mola-Yudego 2017a). I samma studie var de genomsnittliga C-koncentrationerna i alven (40–60 cm) lika med de i intilliggande åkrarna, men var högre jämfört med angränsande gräsmark. Ökat markkol (C) och -kväve (N) registrerades i alven även i hybridaspodlingar både på före detta gräs- och åkermark 15 år efter planteringen (Lutter m.fl. 2016). Jämfört med åkermark hindrar odlingssystem med poppel urlakning av näringsämnen till vattendrag och denna effekt är störst på våren. (Dimitriou & Mola-Yudego 2017b).

6.2.2 Gråal

Gråal är anpassad till kallare klimat i norra Europa och är en inhemsk art i större delar av Sverige exklusive de sydligaste delarna, växer bra i fuktiga marker och i marker med periodvis stående vatten. Gråal är även anpassad att växa på marker med lägre pH än vad som är optimalt för hybridpoppel (Rytter m.fl. 2016). Den årliga C bindningen i biomassan i albestånd som i genomsnitt producerar 6–7 ton vedråvara per år under en omloppstid på 25 år i nordiskt klimat, uppskattas till 2.6 ton ha^{-1} (Rytter m. fl. 2016). Gråal förbättrar jordar genom att den fixerar kväve från luften (Bond 1976).

Utmaningar för framtiden 2030

Kolinlagring och potential att använda poppel, hybridasp och al som vegetationsfilter har under senaste decenniet varit i fokus i några enstaka studier. För hybridasp och poppel täcker dessa studier enbart korta perioder under en omloppstid. Därför föreslår vi att kommande studier behöver fokusera på dessa ekosystemtjänster under en hel rotationsperiod (20 år) och även längre, fram till slutet på en andra omloppstid som uppkommit från rot- (al, hybridasp) eller stubbskott (poppel).

Kvantitativa jämförelser av markkemi före och efter en rotation på 20 år med snabbväxande lövträd är viktiga för att uppskatta kolinlagringspotentialen av dessa odlingssystem samt deras påverkan på markkemi under hela rotationstiden. Idag finns trädslagsförsök planterade på jordbruksmark (1990-talet) i Mälardalen samt i södra Sverige och nationella trädslagsförsök på skogsmark och åkermark, planterade 2012, som kan utvärderas i avseende på förändringar i markkol och -kväve med mera efter en avslutad rotation. Dessa trädslagsförsök innehåller al, poppel, hybridasp, björk, tall, gran, asp och i vissa fall trädformad sälg.

Vidare rekommenderar vi livscykelanalyser av hela värdekedjor fram till produkter som använder snabbväxande lövträd som råvara, samt konsumtion av dessa produkter, eftersom livscykelanalyser ger en värdefull faktabaserad bild om klimatnyttan med snabbväxande lövträd som råvara.

Klimat- och miljöpåverkan	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	2	5	– Kolinlagring i mark, rotexudat och rötter över hela rotationsperioden/er (2,3). – Studera hur kolinlagringen i mark skiljer sig mellan trädslag, gödsling och odlingslokal (2,3). – Näringsupptag och näringsbudgetar över hela omloppstiden/flera omloppstider. – Potentialen att använda alléodlingar med snabbväxande lövträd som vegetationsfiltrar i jordbrukslandskap för att hindra övergödningen, öka den biologiska mångfalden samtidigt som kompletterande tråvåra produceras. – En eventuell inkludering av alléodlingar med snabbväxande lövträd i förgröningsstödet för miljö- och samhällsnytta behöver utredas.
Hybridasp	2	5	– Samma åtgärder som för poppel (2,3).
Al	1	2	– Samma som för poppel och hybridasp (2,3).

6.3 Biodiversitetsaspekter på odlingar av snabbväxande lövträd

Den biologiska mångfalden i trädplantage är ofta högre än den som går att hitta i omgivande åkermark, (Sky & Wagner 2007). Det har bland annat att göra med den mer komplexa miljön i ett trädplantage, vilket innebär en större variation av tillgängliga nischer. Samtidigt är mångfalden av arter i den här typen av snabbväxande plantager oftast lägre än vad som går att hitta i naturliga skogar (Sky & Wagner 2007). I jordbrukslandskap bidrar poppelodlingar till mångfald av växter eftersom det är olika arter som växer i poppelodlingar och på åkermark (Weih m. fl. 2003). Det planterade trädslaget lägger grunden för ett antal viktiga beståndsstrukturer. Mängden ljus som tar sig genom kronverken, och kvalitén på lövförna är viktiga förutsättningar för nedbrytningsprocesser i marken, vilket ofta sker med hjälp av insekter, svampar och bakterier.

Det är sällan som typiska skogsarter återfinns i den här typen av plantager (Tullus m.fl. 2015). Istället kännetecknas florán i de här miljöerna till en början av frodig, ljuskrävande och kortlivad vegetation, som när krontaket slutits istället ofta ersätts av mer skuggtåliga, perenna växter (Baum m.fl. 2009). Viktigt för att uppnå en hög artdiversitet är att det finns tillgång till en stor variation av mikromiljöer. Här erbjuder ljusa brynmiljöer och de skuggiga områdena längre in i bestånden två ytterligheter. Olika trädslags barkstrukturer och kemi har dessutom en direkt påverkan på epifyter av mossor, lavar och alger.

6.3.1 Gråal

När det kommer till alens biologiska mångfald, behandlas oftast gråal (*Alnus incana*) och klibbal (*Alnus glutinosa*) tillsammans. Detta trots att våra två arter av al oftast förekommer i vitt skilda miljöer. Klibbalen som har sin utbredning med tyngdpunkt på södra Sverige, bildar ofta bestånd i fuktiga kärr med friskt vatten, medan gråalen främst förekommer både på frisk mark, samt marker med periodvis stående vatten och har sin naturliga utbredning framför allt i de norra delarna av Sverige. Att både geografi och ståndorter skiljer sig, gör att det går att misstänka att arter knutna till grå- och klibbal representerar olika miljöer. Det är därför svårt att dra generella slutsatser om enbart gråalens påverkan på miljö och biologisk mångfald. Dessutom saknas det studier om

biologisk mångfald knuten till gråal i formen av ett snabbväxande trädslag på åkermark. En studie som jämfört biodiversitet i alplantage (*Alnus acuminata*) med den i naturliga alskogar (Santisteban-Arenas m.fl. 2019), fann att det är helt olika ekologiska mekanismer som styr i dessa miljöer. Den frodiga och snabbväxande markfloran som ofta återfanns i alplantagen på åkermark, visade sig vara känslig för insektsangrepp. Det i sin tur tycktes gynna insektivora fåglar, så som flugsnappare. De äldre bestånden av naturligt växande al, hade istället en högre andel specialiserade fåglar, bland annat hackspettar som födosökte under barkflagor på äldre träd.

6.3.2 Hybridasp och poppel

Samtliga trädslag i släktet poppel (*Populus spp.*) brukar behandlas gemensamt när olika trädslags betydelse för biologisk mångfald ska summeras. I den här gruppen ingår både hybridasp och poppel, men också vår inhemska asp (*Populus tremula*). I Sverige finns det drygt 200 arter som är specialiserade, och uteslutande behöver olika trädslag av poppel som sin värd, därtill kan ytterligare ca 500 arter använda asp som värd (Sundberg 2019). Det är möjligt att flera av dessa arter under rätt omständigheter också skulle kunna dra nytta av hybridasp och poppel, men idag saknas helt och hållet forskning på hur de snabbväxande hybriderna skiljer sig från våra inhemska trädslag. Skalbaggas och tvåvingar är exempel på artrika grupper som har en relativt hög andel arter knutna till olika arter av popplar. Andra artgrupper som sticker ut är mossor och lavar. Många arter av epifyter, däribland lavar, begränsas av lågt pH i barken hos våra vanligaste trädslag: gran, tall och björk. Den däremot förhållandevis basiska barken hos popplar utgör däremot ett lämpligt substrat för så kallade rikbarksarter, där också flera ovanliga arter ingår. Både vår inhemska asp och *P. tremuloides* är kända för att ha en rik epifytflora (Boudreault m.fl. 2000, Hedenås and Ericson 2004). Hur det förhåller sig med hybridasperna, som är en hybrid mellan de här två, är däremot förhållandevis okänt. I en av de fåtal studier som gjorts, i Estland, hittades i genomsnitt 38 arter av mossor och lavar per 100 m² provyta i så pass unga bestånd som 16–17 år gamla bestånd med hybridasp (Randlane m.fl. 2017). Det är ett förhållandevis högt antal arter med tanke på den låga beståndsåldern. I ett examensarbete (Jastrzebska, 2020) visar resultaten att artsammansättningen av epifytiska lavar skiljer sig mellan poppel, gran, björk och lärk. Intressant nog hittades också en rödlistad art *Alyxoria ochrocheila* (NT). Det är en rikbarksart som kräver en fuktig ljus miljö, och som har minskat delvis på grund av askskottsjukan.

När det kommer till plantage av hybridasp och poppel i intensivt brukade åkerlandskap, där det vanligtvis bara går att hitta ett fåtal trädridåer, skulle den strukturförändring som ett lövbestånd utgör eventuellt kunna innebära ett värdefullt tillskott i form av skydd för däggdjur och som häckningsmiljö för fåglar. I skogslandskapet har unga bestånd av hybridasp visat sig kunna hysa fler arter och individer av fåglar än i jämnåriga granbestånd (Lindblad m.fl. 2014).

Sammanfattningsvis går det att konstatera att biologisk mångfald och hur den förhåller sig i plantage med al, hybridasp och poppel, är ett relativt utforskat område. Mer forskning behövs, både om hur de här snabbväxande trädslagen kan tillgodose olika artgruppers krav på habitat, men också om plantagens/alléodlingens påverkan på en landskapsnivå.

Utmaningar för framtiden 2030

Intresset för klimat- och miljönyttan med snabbväxande popplar, hybridasp och alar har ökat under senaste decenniet. Det finns dock för få studier, för att säkerställa en övergripande kunskapsbas i ämnet för myndigheter och länsstyrelser, samt rådgivare och markägare. Forskare har ännu inte alla delar av denna kunskap. Det finns behov av forskning om miljö- och klimatnyttan med snabbväxande poppel, hybridasp och gråal både ur landskaps- och livscykelperspektiv som omfattar hela rotationsperioden med dessa trädslag.

Framförallt finns det för få studier om poppelns, hybridaspens och alens roll i att främja den biologiska mångfalden i odlingslandskapen. Därför bör framtida forskning fokusera också på möjligheter att nyttja odlingssystem med snabbväxande lövträd för att främja ekosystemtjänster som upptag av näringsämnen i jordbrukslandskap för att hindra övergödning av vattendrag, öka kolinlagringen i biomassa och mark. Vidare bör framtida forskning fokusera på näringskedjor som inkluderar odlingar med dessa trädslag. Snabbväxande lövträd (utöver *Salix*) kan exempelvis vara boplatser för fåglar och djur som bidrar till biologisk bekämpning av skadeinsekter. Utformning av gröna korridorer med snabbväxande lövträd i odlingslandskapen i kombination med produktion av träråvara bör ha en viktig roll i en hållbar cirkulär samhällsekonomi.

Odlingssystem med snabbväxande lövträd kan formas som alléodlingar med snabbväxande poppel, hybridasp och al som viktiga nischer för organismer som har en nyckelroll i näringskedjan i jordbrukslandskap. Alléodlingar kan vara ett betydelsefullt komplement till ett-åriga blomsterremсор som en metod för att öka den biologiska mångfalden. Studier som fokuserar på hela näringskedjan (food webs) i jordbrukslandskapen, inklusive biotoper med snabbväxande lövträd kan leda till ökad acceptans av dessa odlingssystem hos myndigheter, rådgivare och markägare. Utöver produktion av träråvara, kan ökad biologisk mångfald, kolinlagring och näringsupptag i alléodlingar med snabbväxande lövträd vara kompletterande incitament för myndigheter för att stödja ökade satsningar på plantering av dessa trädslag, samt forskning.

RL Skalan.

Biologisk mångfald	RL 2011	RL 2020	Åtgärder för att nå RL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	1	1	– Grundforskning om vilken biologisk mångfald som är knuten till poppelplantage (2,3). – Hur olika metoder för förnygring- och skötsel, t.ex. gallring och tillförsel av herbicider, påverkar mångfalden av arter (2,3). – Hur olika artsamhällen förändras allteftersom träden växer och blir äldre (2,3). – Om det behövs riktade naturvårdsinsatser liknande de i det traditionella skogsbruket, t.ex. kvarlämnande av naturvårdsträd och död ved vid avverkning. Kan sådana naturhänsyn bidra till att bevara sådana arter som kräver lång kontinuitet för att etablera sig (2,3). – Om död ved från snabbväxande trädslag kan användas i praktiskt naturvårdsarbete, t.ex. genom att allokeras till sådana miljöer där bristen på grov död lövved är så stor att arter beroende av detta substrat riskerar att dö ut (2,3). – Poppelplantagens funktion på en landskapsnivå: Hur påverkas spridningsvägar (konnektiviteten) i landskapet, och hur skiljer sig de här funktionerna åt beroende på om plantagen är i skogs- eller åkerbygd (2,3).
Hybridasp	1	3	– Samma som för poppel (2,3).
Al	1	1	– Samma som för poppel (2,3).

7. Vedegenskaper och användningsområden

Bearbetning och användning av poppel-, asp- och alved för olika produkter påverkas starkt av deras anatomiska, fysikaliska och kemiska vedegenskaper. Dessutom har stammarnas övergripande kvalitet, såsom frekvens av tillväxtrelaterade defekter, förekomst av missfärgat kärnved, stockstorlek och form också en påverkan på olika användningsalternativ.

Användningen av träslag för en mängd olika produkter påverkas också av marknadskrafterna, såsom utbud och efterfrågan, konkurrens från andra arter och material för specifika slutanvändningar, tillgång till lämplig processteknik. För att etablering av odlingssystem med poppel, hybridasp och al skall vara intressant för markägarna i större omfattning än idag behöver efterfrågan på dessa trädslag i den svenska industrin öka. Ved från olika *Populus* arter och kloner används i tillverkning av en rad olika produkter i världen. Vedegenskaper av *Populus* arter är välstuderade i länder där poppel är en viktig råvara för industrin. För svensk skogsindustri är snabbväxande *Populus* och al okända som råvara. I forskningsrapporter har endast variationen i veddensitet redovisats (referenser i Rytter m.fl. 2011).

7.1 Tillväxtrelaterade egenskaper

Odlingssystem med snabbväxande lövträd är intressanta för markägare om producerad virke genererar en tillfredställande avsättning per hektar odlad mark över den relativt korta omloppstiden på ca 20 år. Avsättning är generellt högst för fanértimmer, följd av massaved. Avsättning för bränsleflis från grenar, toppar och bark är lägst. Därmed genererar plantager med hög medelstamdiameter, raka stammar och få kvistar på stammar den bästa avsättningen för markägarna. Karacic m.fl. (2021) utvärderade stamkvalitets-egenskaper hos poppelkloner förädlade för svenskt klimat. Det svenskförädlade materialet hade förbättrade kvalitetsegenskaper med rakare och mindre greniga stammar jämfört med referensklonen OP42 samtidigt som biomassaproduktionen var hög. Det fanns också betydande skillnader i klonernas biomassaallokering till ved, bark och grenar. Skillnader i klonernas kvalitetsegenskaper gör det lättare att anpassa odlingssystemet till olika ändamål. Till exempel innebär möjligheten att använda poppel för fanér eller kompositprodukter för byggindustri ett betydande incitament för markägaren att plantera poppel, då utsikterna är bättre för ett större ekonomisk netto.

7.2 Fysikaliska, mekaniska och kemiska egenskaper

De fysikaliska egenskaperna hos veden karaktäriseras av densitet, fuktighet och hur snabbt virket sväller eller krymper beroende på fuktighetsförändringar i omgivningen. Veddensitet varierar mycket mellan olika taxonomiska grupper inom *Populus* släktet och även längs stammen (Balatinecz mfl. 2013). Veddensiteten hos poppel i ett klonförsök i Halland var lägst vid ca 10 % höjd ($0,33 \text{ g cm}^{-3}$) och ökade mot stambasen ($0,38 \text{ g cm}^{-3}$) och toppen ($0,41 \text{ g cm}^{-3}$ Samec 2021). Den låga genetiska variationen för veddensitet (mätt på 1,3 m stamhöjd) bland hybridasp- och poppelkloner i de svenska klonförsöken innebär dock begränsade möjligheter för förädling för ökad veddensitet

(Stener 2019). Förutom genetiska skillnader mellan kloner, påverkas veddensitet också av växtplats och skötselmetoder. Mekaniska egenskaper av ved hos snabbväxande poppel, asp och al i Sverige har inte studerats.

Den kemiska sammansättningen av snabbväxande poppel och asp har stor betydelse för användning i massatillverkning. Idag består 35 % av industriell rundvirkesförbrukning i svenska massabruk av importerad asp och björk (Edlund m.fl. 2019). Eftersom Sverige är den tredje största producent av massa i världen kan snabbväxande trädslag vara en viktig kompletterande råvara för den svenska textil- och pappersmassaindustrin.

Kemiska analyser av ved från 13 poppelkloner med högst stamvolymtillväxt i ett klonförsök i södra Sverige visade en liten variation i innehållet av cellulosa (42,3–47,5 %), hemicellulosa (16,3–19,1 %) och lignin (24, 0–25,4 %; Samec 2021). Två poppelkloner utvärderades ytterligare för produktion av dissolvingcellulosa i en innovativ organosolv-process – katalytisk fraktionering. Slutsatsen från beräkningarna i studien var att vid medelproduktion av 9,6 ton biomassa per ha och år i odlingssystem med poppel, genereras det 2,5 ton dissolvingcellulosa, 0,5 m³ färdigt biodrivmedel och 3.6 ton fastbränsle i form av grenar, toppar och bark (Samec 2021, Adler m.fl. manuskript).

7.3 Användningsområden

Ospecificerad biomassa kan vara en produkt i sig på grund av sitt innehåll av bunden koldioxid. Kan biomassan sedan lagras, syrefritt, utan att brytas ned så kan en kolsänka utvecklas.

7.3.1 Massa

Poppel och asp kan också användas tillsammans med björk och bok för framställning av textilmassa och kan på så sätt konkurrera med bomull. För papperstillverkning lämpar sig både asp och poppel. Södra Cell Mörrum tillverkar pappersmassa med produktnamnet **Södra gold** som använder lövved som råvara (Södra 2021a). Massan säljs vidare till kunder som använder den för ytskikt på kartong, finpapper, toalettpapper och ansiktsservetter. Dissolvingmassa med produktnamnen **Södra orange** och **Södra purple** produceras för tillverkning av lyocell- och viskosfibrer (Södra 2021b). Slutprodukten är lyocellbaserade kläder, sängkläder, textilier eller täcken samt viskosbaserade kläder, möbiltyger, disktrasor eller våtservetter.

Alen har ett mjukt och lättbearbetat virke som behåller en rödaktig ton efter torkning (Johansson 2003). Den mörka tonen kan vara ett problem vid framställning av massa (Rytter 1996).

7.3.2 Träfiberskivor

Poppel kan användas som råvara för produktion av lätta träfiberskivor. Intresset finns bland annat hos stora förbrukare av träråvaror. Bland annat medverkar IKEA i internationella projekt så som “Dendromass4europe” (<https://www.dendromass4europe.eu/partners/>) där ett övergripande mål är att etablera flera tusen hektar poppelodlingar och i princip demonstrera ett storskaligt system som skulle kunna utgöra en europeisk råvarubas för tillverkning av träfiberskivor. Råvara från snabbväxande trädslag är intressant även för befintlig trämekanisk industri i Baltikum som producerar spånskivor, OSB-skivor (particle board) och träfiberskivor (HDF, MDF) av tall, björk, gråal, asp, poppel, ek.

7.3.3 *Timmer*

I Kina, Italien, Spanien och Frankrike tillverkas fanér av poppel (<https://www.garnica.one/en>). Möbelindustrin, bland annat IKEA och Tibro-företag tillverkar vissa möbler i massivträ av lätta träslag som poppel och asp. Det virket importeras idag. Även likkistor och inredningsprodukter tillverkas av poppel och asp. I en del länder används virket från poppel och asp som konstruktionsvirke, bland annat timmerhus. Tillgången på altimmer av hög kvalitet är idag låg och kan framför allt ses som effekt av avsaknaden av adekvata skötselinsatser (jmf. Johansson 2003).

7.3.4 *Bioenergi*

Som energigröda fungerar stamformig energived bra på grund av sitt låga innehåll av aska. Både att elda direkt men framför allt att på olika sätt omvandlas till drivmedel (Öhman, Granberg, LTU). Det är troligt att olika kloner och odlingsförhållanden påverkar sammansättningen i biomassan. I ett projekt "Snabbväxande lövträdsplanteringar – framtidens råvara till biodrivmedel" finansierat av Energimyndigheten kommer biomassan från bl.a. poppel och hybridasp odlade under olika förutsättningar att analyseras. Projektet är planerat att vara klart 2023. Möjligheten att göra drivmedel av poppel kommer även att studeras i ett projekt finansierat inom F3-programmet "Biodrivmedel från snabbväxande lövträd – en syntesstudie från råvara till drivmedel". Här kommer dels konverteringen till biodrivmedel av biomassa från stora poppel träd att analyseras och jämföras med andra bränslen inklusive smala stammar av poppel. Projektet beräknas vara klart 2021.

7.3.5 *Andra användningsområden*

Aspvirke fungerar väl som svampsubstrat medan poppel och al inte är testade för detta ändamål. Det pågår försök att producera fiskfoder av cellulosa i bland annat Norge. Idag pågår omfattande försök med att på olika sätt använda lignin, hemicellulosa och cellulosa till bland annat plast och olika kemikalier. Aspspån till takspån används i Norge.

Utmaningar för framtiden 2030.

När det gäller industriell användning, d.v.s. 700 000 ha odlingar med snabbväxande och högproduktiva *Populus* arter, finns det flera kunskapsluckor som behöver fyllas. Efterfrågan på råvaran i de svenska industrierna runt om i landet har en avgörande betydelse för att öka arealen med snabbväxande lövträd. Skogsindustrin behöver kunskap om hur dessa träslag kan inkluderas i befintliga skogsindustriella processer. I samarbete med skogsindustrin behöver vi utvärdera snabbväxande träslag som råvara i befintliga massabruk och trämekanisk industri, samt i framtida bioraffinaderier.

TRL skalan.

Vedegenskaper och användningsområden	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	1	2	– Grundläggande studier av hur kloner och odlingsförhållanden påverkar biomassaegenskaper. – Kunskap om hur biomassan kan konverteras till massa och bio-drivmedel. – Öka samverkan mellan forskning kring biomassaproduktionssystem och användningsområden. – Öka kunskapen hur snabbväxande träslag fungerar i husbyggnader. – Utforska vilka odlingssystem som passar för att ta fram en biomassa eller virke med rätt egenskaper kopplat till specifika industriella processer. Grundforskning (scenarion 1, 2 och 3). – Analysera och beskriva stamvedens sammansättning och egenskaper inklusive hantering av bark. – Barkandel vid olika stamdiameter samt omvandlingstal m³sk till m³fub.
Hybridasp	7	8(9)	– Analysera och beskriva stamvedens sammansättning och egenskaper inklusive hantering av bark. – Grundläggande studier av hur kloner och odlingsförhållanden påverkar biomassaegenskaper. – Öka kunskapen hur snabbväxande träslag fungerar i husbyggnader. – Kunskap om hur biomassan kan konverteras till massa och bio-drivmedel.
Al	2	2	– Ökad kunskap om alens kvalitet i skötta bestånd. – Analysera och beskriva stamvedens sammansättning och egenskaper. Ev. också hantering av bark. – Kunskap om hur biomassan kan konverteras till biodrivmedel.

8. Socioekonomiska aspekter av odlingssystem med snabbväxande trädslag

8.1 Odlingsekonomi, förhållande till andra markanvändningar

Markägare med åkermark som aktivt omvandlas till skog eller passivt låter skog växa in på marken gör det framför allt av incitament av att hålla markerna öppna saknas. Det kan bero på att markerna inte är ekonomiskt intressanta att bruka inom jordbruket till växtodling eller bete vilket kan bero på arrondering, dränering, avkastning eller markägarens intressen samt om det finns intresserade lantbrukare i omgivningen som vill bruka marken. Ekonomin kan också bero på arrondering som inte passar en modern maskinpark inom jordbruket alternativt att stängsling för betesdrift blir allt för kostsamt (Kumm 2021).

Markägare med åkermark som planterar energigrödor som salix, poppel eller hybridasp gör det troligen främst av att det är jämförelsevis ekonomiskt intressant eftersom brukandet inte kräver årliga aktiviteter samt det idag utgår investeringsstöd och gårdsstöd för den odlingen av energigrödor. Det är en förhållandevis enkel produktion att behålla under egen drift eftersom de större insatserna utförs via entreprenörer och det kan på en fastighet finnas områden där en sådan plantering är rationell även om man för övrigt är en aktiv jordbrukare. För att erhålla gårdsstöd och förgröningsstöd behöver jordbrukare inte odla marken utan den redovisas under grödkod 49 som innebär att det är gräsbevuxen mark. Det ekonomiska stödet kan ses som en passiv markavkastning som inte kräver några insatser från markägarens sida. Varje ha ger en stödrätt som år 2020 var värd 129,82 euro. Som tillägg kan man få förgröningsstöd som är 54,05 procent av värdet på dina stödrätter, totalt ca 200 euro per ha. För att få stödrätter måste stödberättigad areal vara minst 4 ha och skiftet minst 0,1 ha. Motsvarar stödet 2 000 euro minskar stödet och minskar ytterligare om stödet överstiger 150 000 euro, (Jordbruksverket).

På god jordbruksmark eller områden där det finns många expansiva lantbrukare är efterfrågan på jordbruksarealer så stor att plantering inte blir aktuell utan subventioner. Lön-samheten inom jordbruket är så god att prisnivån både på arrenden och köp ständigt slår nya rekord. En trend som hållit i sig sedan Sveriges EU-inträde (Jordbruksverket, Statistikdatabasen).

8.1.1 Produktionskostnaden

I följande ekonomiredovisning jämförs de tre arterna hybridasp, poppel och gråal. Efter-som användningsområdet är okänt inkluderas enbart kostnadsposter produktion och skörd. Produktionskostnaderna är markåtgärder före plantering, plantor, plantering, skötsel efter plantering, ränta, skörd och skotning 400 meter till lastbilsväg (Plantskolor, Maskin-kostnader 2020, Skogskunskap). Hybridasp redovisas både ostängslat och där stängsel är inkluderat för plantering av en ha, priset per ha sjunker vid större ytan om inte arronderingen är allt för oregelbunden. För poppel är vissa viltskyddsåtgärder inkluderade men stängsling bedöms vara obehövlig. Gråal bedöms som inte viltbegärlig. Kostnaden

för mark, markränta inkluderas inte. Sedan tillkommer pris för transport till industri samt förädling till vald produkt. Skördad biomassa uppdelas i två fraktioner i form av stamvirke m³fub, samt Grot, det senare inkluderas inte utan läggs bara till som en möjlig biomassa att använda. Kostnaderna redovisas som kr per m³fub, per ton TS och som kronor per assimilerad mängd, kg koldioxid som återfinns i virket. Bestånden avverkas efter 20 år och endast den första generationen inkluderas även om träden i alla exemplen skjuter nya skott ifrån rötter eller stubbar. Plantdensiteten är relativt låg 1 100 plantor per ha för poppel och hybridasp vilket är relativt vanligt praktiserade planteringsförband samt 1 333 för gråal som möjligen är något lågt men kunskapen om optimala planteringsförband är bristfälliga. Till viss del styr målet för produktionen plantdensiteten och avverkningsålder.

Jämförande tabell för skörd i volym och produktionskostnad i kr.

Trädslag	Volym m ³ fub*	Kostnad kr m ³ fub	Kostnad kr ha	Kostnad kr Kg TS**	Kostnad kr kWh	Kostnad Kr kg CO ²	GROT m ³ s
Hybridasp östängslad	370	189	68 809	0,541	0,108	0,314	146
Poppel	403	200	80 566	0,573	0,115	0,332	160
Gråal	202	218	44 083	0,607	0,121	0,352	80
Hybridasp stängslad	370	397	146 609	1,137	0,227	0,659	146

* m³fub = kubikmeter fast under bark, d.v.s. toppar och grenar ingår inte utan det redovisas som GROT.

** TS = Torr Substans.

8.2 Markägares perspektiv

En stor del av marken som är tillgänglig för odling i Sverige ägs av privata jord- och skogsbrukare. Trots det tas deras perspektiv ofta inte med i tillräckligt hög grad i dessa sammanhang. Simuleringsstudier som skattade den tillgängliga potentialen för rundvirke att användas för energiändamål i EU utgick exempelvis från att träbiomassa kunde tillhandahållas från 94,6 % av skogsmarksarealen (Verkerk m.fl. 2011; UNECE and FAO 2011). Men liksom i Sverige är en stor del av den produktiva skogsmarken i övriga EU privatägd och när markägarnas perspektiv togs med i beräkningarna blev resultatet ett helt annat. Det visade sig att endast 10 % av de privata skogsägare som besvarade en enkät (och som ägde 12 % av skogsmarksarealen) var starkt eller svagt positiva till att tillhandahålla träbiomassa för energiändamål, trots att frågan ställdes under förutsättningen att det var ekonomiskt mera fördelaktigt att tillhandahålla träbiomassa för energiändamål än att fortsätta tillhandahålla virke (Blennow med flera 2014). Hur mycket träbiomassa som är tillgänglig kan alltså bero på vad det ska användas till, snarare än vilket pris den betingar. Att ta hänsyn till markägarnas uppfattningar och målsättningar kan därför vara av avgörande betydelse vid skattning av övergripande produktionspotentialer.

Nedläggning av åkermark har pågått under flera decennier. Det finns därför mark som teoretiskt sett skulle kunna användas till produktion av snabbväxande trädslag för bioenergiändamål. Men varför utnyttjas inte dessa marker för odling av snabbväxande trädslag i större utsträckning än de gör idag? Doktorandprojektet *Ökad biomassatillgång i praktiken – halm och snabbväxande lövträd ur odlarperspektiv* (finansieras av

Energimyndigheten) syftar till att besvara denna fråga. Med kunskap om varför, till vad och hur den nedlagda jordbruksmarken används ges möjlighet att göra en mera realistisk uppskattning av potentialen. Genom att ta med markägarnas uppfattningar i beräkningarna är avsikten att göra potentialuppskattningen mera realistisk än om den endast begränsas av teknoekonomiska- och ekologiska överväganden.

Utöver att revidera potentialberäkningar syftar doktorandprojektet till att ta fram kunskap om vilka kommunikationsbehov markägarna har när det gäller möjligheter och begränsningar vad gäller att tillhandahålla biomassa från snabbväxande lövträd. Kommunikationsbehoven ska identifieras genom att analysera markägarnas beslut. Med hjälp av den nya kunskapen om kommunikations- och rådgivningsbehov och genom att identifiera beslutsstrategier som markägarna tillämpar ska riktlinjer tas fram för att göra experters kommunikation med markägarna om leverans av biomassa för produktion av högvärdiga energibärare och biobaserade produkter mera effektiv. Projektet väntas vara färdigt våren 2024.

8.3 Förändringar av landskapsbild med mera snabbväxande lövträd

Om åkerareal ska planteras med energigrödorna poppel och hybridasp ska det anmälas till Länsstyrelsen där ärendet passerar naturvårdshandläggare och antikvarie som kan ge synpunkter på planteringen utsträckning och utformning. Generellt sett så är äganderätten väldigt stark så att de har väldigt liten möjlighet att stoppa en plantering. Detta visade sig i bland annat Tillberga socken strax norr om Västerås där en större markägare trots massiva protester planterat mycket stora arealer med poppel och hybridasp.

En viktig landskaps- och rörelsepåverkan utgör behovet att stängsla in planterade arealer. Här utmärker sig hybridaspern som genom smaklighet blir utsatt för betning och barknag och har ett mycket stort behov av stängsling åtminstone för mindre arealer och arealer som planteras i skogs- och mellanbygder där tillgången på hjortdjur generellt är stort. I mer utpräglade helåkersbygder kan stängsling troligen slopas. Al har inget stängslingsbehov och poppel kan klara sig utan genom att behandla stammar under de första tillväxtåren för att undvika fejningsskador. Stängsling hindrar rörlighet både för människor och djur.

För landskapsbildens skull borde björk inkluderas som trädslag för produktion av biomassa. På grund av den högre densiteten i björkveden är produktion i form av ton TS per ha och år väl i paritet med al eller högre även om tillväxten inte når upp till produktionen hos poppel och hybridasp. Men de vackra vita björkstammarna kan ge en bättre landskapsbild vilket flera undersökningar visat (Eriksson 2011, Kumm 2017). Även utveckling av moderna odlingssystem som kombinerar odling med andra värden måste även utvecklas och studeras vidare. Detta kan vara system liknande agroforestry eller plantering i ojämna förband med syftet att skapa odlingar som syftar till att både producera biomassa och skapa andra värden. Hybridasp och poppel räknas idag in som jordbruksgröda på åkermark medan al och björk inte gör det. Ska de senare planteras behövs tillstånd för att beskoga åkermark.

Socioekonomiska aspekter av odlingssystem med snabbväxande trädslag	TRL 2011	TRL 2020	Åtgärder för att nå TRL 9 till 2030 Scenario inom parentes
Poppel	3	4	– Jämför och utveckla landskapsbilden med de mest produktiva björkklonerna (2,3). – Utveckla odlingssystemen för att skapa en positiv landskapsbild (2,3). – Undersöka hur etablering och skötsel av andra typer av planteringar skall genomföras och vilka metoder som krävs för detta (2,3).
Hybridasp	2	2	– Jämför och utveckla landskapsbilden med de mest produktiva björkklonerna (2,3). – Utveckla odlingssystemen för att skapa en positiv landskapsbild (2,3). – Utveckla viltbetesskydd som inte inkräktar på den fria rörligheten.
Al	1	1	– Jämför och utveckla landskapsbilden med de mest produktiva björkklonerna (2,3). – Utveckla odlingssystemen för att skapa en positiv landskapsbild (2,3).

9. Referenslista

- Adler, A., Karacic, A., Rönnerberg Wästljung, A.C., Johansson, U., Liepins, K., Gradeckas, A. & Christersson, L. 2021. Variation of growth and phenology traits in poplars planted in clonal trials in Northern Europe – implications for breeding, *BioEnergy Research*, in press. DOI: 10.1007/s12155-021-10262-8
- Adler, A., Engqvist, G., Fahlvik, N., Hazell, P., Monrad Jensen, A., Nilsson, B., Ramstedt M. & Rönnerberg Wästljung, A. 2020. Country report 2016–2019 from National Commission of Fast-Growing Trees in Sweden Uppsala, National Commission of Fast-Growing Trees in Sweden: 18.
- Adler, A., Kumaniaev, I., Karacic, A., Baddigam, K., Subbotina, E., Alonso, A., Moreno-Moreno, A., Håkansson, H., Mathew, A., Samec, JSM. Catalytic fractionation of Nordic poplar wood to substitute cotton and reclaim land for food production. Manuskript.
- Aosaar, J., Varik, M., & Uri, V. 2012. Biomass production potential of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) in Scandinavia and Eastern Europe: a review. *Biomass and Bioenergy*, 45, 11–26.
- Arlauskas, M. 2020. Differences in Aluminum tolerance of *Populus* genotypes – Development of methodology for identification of poplar genotypes suitable for acidic forest land. Examensarbete. Alnarp: SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap.
- Aronsson, P. & Perttu, K. 2001. Willow vegetation filter for wastewater treatment and soil remediation combined with biomass production. *Forestry Chronicle* 77(2): 293–299.
- Balatinecz, J., Mertens, P., De Boever, L., Yukun, H., Jin, J. & van Acker, J. 2014. Properties, Processing and Utilization. J.G. Isebrands & J. Richardson (red). *Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment*. FAO, Rom, s 527–561.
- Baum, S., M. Weih, G. Busch, F. Kroiher, & A. Bolte. 2009. The impact of Short Rotation Coppice plantations on phytodiversity. *Landbauforschung Volkenrode* 59:163–170.
- Beslutsstödsgruppen DAWA/BLIS, Jordbruksverket.
- Bergström, D., Di Fulvio, F., Kons, K. & Nordfjell T. 2011. Skörd av övergrov salix med skogsbrukets maskiner. Arbetsrapport 334, Institutionen för skoglig resurshållning, Sveriges lantbruksuniversitet, Umeå.
- Björklund, Gunnar; bygdeskribent Tillberga, Personlig kommunikation.
- Blennow, K., Persson, E., Lindner, M., Faia, S.P. & Hanewinkel, M., 2014. Forest owner motivations and attitudes towards supplying biomass for energy in Europe. *Biomass and Bioenergy*, 67: 223–230. DOI:10.1016/j.biombioe.2014.05.002
- Bond, G. 1976. The results of the IBP survey of root-nodule formation in non-leguminous angiosperms. In: Nutman, P.S. (Ed.), *Symbiotic Nitrogen Fixation in Plants*. IBP 7, Cambridge University Press, Cambridge. pp. 443–474.
- Boudreault, C., Gauthier, S., & Bergeron, Y. 2000. Epiphytic Lichens and Bryophytes on *Populus tremuloides* along a Chronosequence in the Southwestern Boreal Forest of Québec, Canada. *The Bryologist* 103:725–738.

- Böhlenius, H. & Övergaard, R. 2015a. Growth response of hybrid poplars to different types and levels of vegetation control. *Scandinavian Journal of Forest Research*.
- Böhlenius, H. & Övergaard, R. 2015b. Exploration of optimal agricultural practices and seedling types for establishing poplar plantations. *Forests*.
- Böhlenius, H., & Övergaard, R. 2014. Effects of direct application of fertilizers and hydrogel on the establishment of poplar cuttings. *Forests*, 5(12), 2967–2979
- Böhlenius, H. & Övergaard, R. 2016. Impact of seedling type on early growth of poplar plantations on forest and agricultural land. *Scandinavian Journal of Forest Research*.
- Böhlenius H., Övergaard R. & Jämtgård S. 2016. Influence of soil types on establishment and early growth of *Populus trichocarpa*. *Open journal of forest research*.
- Böhlenius, H., Fransson, T., Holmström, E., & Salk, C. 2017. Influence of Cutting Type and Fertilization in Production of Containerized Poplar Plants. *Forests*, 8(5), 164.
- Böhlenius, H., Asp, H., & Hjelm, K. 2018. Differences in Al sensitivity affect establishment of *Populus* genotypes on acidic forest land. *Plos one*, 13(9), e0204461.
- Böhlenius, H., Nilsson, U., & Salk, C. 2020. Liming increases early growth of poplars on forest sites with low soil pH. *Biomass and Bioenergy*, 138, 105572.
- Böhlenius, H., Huang, T., Charbonnel-Campaa, L., Brunner, A. M., Jansson, S., Strauss, S. H., & Nilsson, O. 2006. CO/FT regulatory module controls timing of flowering and seasonal growth cessation in trees. *Science*, 312(5776), 1040–1043.
- Böhlenius, H., Övergaard, R., & Asp, H. 2016. Growth response of hybrid aspen (*Populus × wettsteinii*) and *Populus trichocarpa* to different pH levels and nutrient availabilities. *Canadian Journal of Forest Research*, 46(11), 1367–1374.
- Börjesson, P. 2016. Potential för ökad tillförsel och avsättning av inhemsk biomassa i växande svensk bioekonomi, Department of Technology and Society, Lund, Lund University. *Environmental and Energy Systems Studies*, p. 85.
- Cleary, M.R., Blomquist, M., Vetukuri, R., Böhlenius, H. and Witzell, J. 2017. Susceptibility of common tree species in Sweden to *Phytophthora cactorum*, *P. cambivora* and *P. plurivora*. *For. Path.*, 47: e12329. <https://doi.org/10.1111/efp.12329>
- Dimitriou, I. & Mola-Yudego, B. 2017a. Impact of *Populus* Plantations on Water and Soil Quality. *Bioenergy Research* 10(3): 750–759.
- Dimitriou, I. & Mola-Yudego, B. 2017b. Poplar and willow plantations on agricultural land in Sweden: Area, yield, groundwater quality and soil organic carbon. *Forest Ecology and Management* 383: 99–107.
- Dimitriou, I. & Rosenquist, H. 2011. Sewage sludge and wastewater fertilization of short rotation coppice (SRC) for increased bioenergy production: Biological and economic potential. *Biomass & Bioenergy* 35(2): 835–842.
- Edlund, E., Björklund, L. & Persson, E. 2019. Skogsindustrins virkesförbrukning samt produktion av skogsprodukter 2014–2018. Uppsala, Biometria: 22 s.
- Eriksson, L., Bohlin, F., Hörnfeldt, R., Johansson, T., Lindhagen, A., & Woxblom, A. C. 2011. Skog på jordbruksmark – erfarenheter från de senaste decennierna (inklusive Bilaga 7), 1–246.

Fahlvik, N., Rytter, L. & Stener, L. G. 2021. Production of hybrid aspen on agricultural land during one rotation in southern Sweden. *Journal of Forestry Research* 32(1): 181–189.

Fortier, J., Truax, B., Gagnon, D., & Lambert, F. (2017). Allometric equations for estimating compartment biomass and stem volume in mature hybrid poplars: General or site-specific?. *Forests*, 8(9), 309.

FSC. 2020. Skillnader mellan nuvarande och ny FSC-standard för skogsbruk i Sverige. Granberg, Fredrik; LTU Green Fuels, Luleå tekniska universitet, personlig kommunikation.

Granhall, U., Ericsson, T. & Clarholm, M. 1983. Dinitrogen fixation and nodulation by *Frankia* in *Alnus incana* as affected by inorganic nitrogen in pot experiments with peat. *Canadian Journal of Botany* 61: 2956–2963.

Grönlund, Ö. Iwarsson Wide, M. Englund, M. & Ekelund, F. 2015. Sektionsgallring – En arbetsmetod för täta, klena gallringar. Arbetsrapport från Skogforsk – 877.

Grönlund, Ö. 2018. Gallring och slutavverkning av rotskott från hybridasp. Arbetsrapport från Skogforsk – 963.

Hedenås, H., & L. Ericson. 2004. Aspen lichens in agricultural and forest landscapes: the importance of habitat quality. *Ecography* 27:521–531.

Hendrickson, O.Q., Burgess, D., Perinet, P., Tremblay, F. & Chatapaul, L. 1993. Effects of *Frankia* on field performance of *Alnus* clones and seedlings. *Plant and Soil* 150: 295–302.

Hjelm, K., Mc Carthy, R. & Rytter, L. 2018. Establishment strategies for poplars, including mulch and plant types, on agricultural land in Sweden. *New Forests* 2018, 49:737–755.

Hjelm, B. & Johansson, T. 2012. Volume equations for poplars on farmland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 27 (6): 561–566.

Hjelm, B., Mola-Yudego, B., Dimitriou, I. & Johansson, T. 2015. Diameter-Height models for fast-growing poplar plantations on agricultural land in Sweden. *Bioenergy Research* 8 (4): 1759–1768.

Huss-Danell, K., & Frej, A. 1986. Distribution of *Frankia* in soils from forest and afforestation sites in northern Sweden. *Plant and Soil*, 90(1/3): 407–417.

Hytönen, J., & Saarsalmi, A., 2015. Biomass production of coppiced grey alder and the effect of fertilization. *Silva Fennica* 49, 16.

Högström, Mats, Institutionen för skoglig resurshushållning, Avdelningen för skoglig fjärranalys, SLU, personlig kommunikation.

Ilstedt, B. 1994. Breeding strategy for poplar *Populus trichocarpa*, jättepoppel, till svenskt klimat. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*: 39–45.

Ilstedt, B. 2005. **Anpassning av *Populus trichocarpa*, jättepoppel, till svenskt klimat.** Proceedings from a Poplar seminar at the Department of Short Rotation Forestry, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala.

Jacobsen B. 1976. Hybridasp (*Populus tremula* x *Populus tremuloides* Michx.). *Det Forstlige Forsøgsvæsen i Danmark*, 34: 317–338.

- Jastrzebska, E Z, 2020. *Poplar for biodiversity? : comparison of lichen communities in stands of Balsam poplar, Hybrid larch, Silver birch and Norway spruce*. Examensarbete. Alnarp: SLU, Institutionen för sydsvensk skogsvetenskap.
- Johansson, T. 1999. Site Index Curves for Common Alder and Grey Alder Growing on Different Types of Forest Soil in Sweden, *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14:5, 441–453.
- Johansson T. 2000. Biomass equations for determining fractions of common and grey alders growing on abandoned farmland and some practical implications. *Biomass Bioenergy* 18(2):147e59.
- Johansson, T. 2003. Bättre alvirke med rätt skötsel. Fakta Skog Nr. 9.
- Johansson, T. 2011. Site index curves for poplar growing on former farmland in Sweden. *Scandinavian Journal of Forest Research* 26 (2): 161–170.
- Johansson, T. & Hjelm, B. 2012. Stump and root biomass of poplar stands. *Forests* 3 (2): 166–178.
- Johansson, T. 2013. A site dependent top height growth model for hybrid aspen. *Journal of Forestry Research* 24 (4): 691–698.
- Johansson, T. 2013. Biomass production of hybrid aspen growing on former farm land in Sweden. *J For Res* 24(2):237–246.
- Johansson, T. 1999. Dry matter amounts and increment in 21-to 91-year-old common alder and grey alder and some practical implications. *Canadian Journal of Forest Research*, 29(11), 1679–1690.
- Johansson, T. & Karacic, A. 2011. Increment and biomass in hybrid poplar and some practical implications. *Biomass & Bioenergy* 35 (5): 1925–1934.
- Johnsson, H. 1953. Hybridaspens ungdomsutveckling och ett försök till framtidsprognos. *Svenska Skogsvårdsföreningens Tidskrift* 51:73–96.
- Jordbruksverkets statistikdatabas: Olsson, Ylva, Statistiker, Statistikenheten, Jordbruksverket.
- Jordbruksverket. 2020. Jordbruksstatistik sammanställning 2020 med data om livsmedel – tabeller. Official Statistics of Sweden. Örebro, Sweden, Agriculture and Energy Statistics Unit: 314.
- Jordbruksverket. 2021. Förgröningsstöd. <https://jordbruksverket.se/stod/lantbruk-skogsbruk-och-tradgard/jordbruksmark/forgroningsstod> Hämtad den 26 mars 2021.
- Karacic, A., Adler, A., Weih, M. & Christersson, L. 2021. An Analysis of Poplar Growth and Quality Traits to Facilitate Identification of Climate-Adapted Plant Material for Sweden. *Bioenergy Research*, in press. DOI: 10.1007/s12155-020-10210-y
- Karacic A. 2018. Cirkulär ekonomimodell för återföring av slam till poppelodlingar. Projekt nr 45082-1. Energimyndigheten.
- Karacic, A. & B. Samils. 2017. Climate adaptation and leaf rust in the Swedish population of *Populus trichocarpa*. In Swedish. Final report, Swedish Energy Agency. Eskilstuna.

- Kassfeldt, E. 2009. *Susceptibility of hybrid aspen (Populus tremula x tremuloides) to pine twisting rust (Melampsora pinitorqua)*. SLU, Dept. of Forest Ecology and Management, Umeå. Umeå: SLU, Dept. of Forest Ecology and Management.
- Korkalo, P., Korpinen, R., Beuker, E., Sarjala, T., Hellström, J., Kaseva, J., Lassi, U., & Jyske, T. 2020. Clonal Variation in the Bark Chemical Properties of Hybrid Aspen: Potential for Added Value Chemicals. *Molecules*. Basel, Switzerland. 25:4403.
- Kumm, K-I. 2017. Naturbetesmarkernas värden och bevarande. Rapportnr: 2017:21 ISSN: 1403-168X. Länsstyrelsen i Västra Götalands län, landsbygdsavdelningen.
- Kumm, K-I. 2021. Betesbaserad köttproduktion och kolinlagrande virkesproduktion på nedlagd och nedläggningshotad jordbruksmark. Sveriges Lantbruksuniversitet Skara. Rapport 53, Institutionen för husdjurens miljö och hälsa. Avdelningen för produktions-system. ISSN 1652-2885.
- Lantmäteriet Geodata, Geodatasupport, personlig kommunikation.
- Larsson, S., Lundmark, T. & Ståhl, G. 2008. Möjligheter till intensivodling av skog. Slutrapport regeringsuppdrag Jo 2008/1885
- Lindbladh, M., Hedwall, P.-O., Wallin, I., Felton, A., Böhlenius, H. & Felton, A. 2014. Short-rotation bioenergy stands as an alternative to spruce plantations: implications for bird biodiversity. *Silva Fennica* vol. 48 no. 5 article id 1135. <https://doi.org/10.14214/sf.1135>
- Ljunger, Å. 1959. Al och alförädling. *Skogen* 5: 1–7.
- Lundgren, Christina, PEFC, personlig kommunikation.
- Lutter, R., Tullus, A. Kanal, A., Tullus, T., & Tullus, H. 2016. The impact of former land-use type to above- and below-ground C and N pools in short-rotation hybrid aspen (*Populus tremula* L. x *P-tremuloides* Michx.) plantations in hemiboreal conditions. *Forest Ecology and Management* 378: 79–90.
- Maskinkostnader. 2020. Underlag och kalkylexempel på timkostnader för lantbruksmaskiner. Hushållningssällskapet Västra.
- Mc Carthy, R. & Rytter, L. 2015. Productivity and thinning effects in hybrid aspen root sucker stands. *Forest Ecology and Management* 354: 215–223.
- Mc Carthy, R. 2016. Establishment and early management of *Populus* species in southern Sweden. Dissertation, Swedish University of Agricultural Sciences, Southern Swedish Research Centre, Doctoral Thesis No. 2016:52, Alnarp.
- Moen, A. 1998. *Natjonalatlas for Norge: Vegetasjon*. Statens kartverk. Hønefoss.
- Mola-Yudego, B., Arevalo, J., Diaz-Yanez, O., Dimitriou, I., Haapala, A., Ferraz Filho, A. C., Selkimaki M. & Valbuena, R. 2017. Wood biomass potentials for energy in northern Europe: Forest or plantations? **Biomass & Bioenergy** 106: 95–103.
- Nielsen, U.B., Madsen, P., Hansen, J.K., Nord-Larsen, T. & Nielsen, A.T. 2014. Production potential of 36 poplar clones grown at medium length rotation in Denmark. *Biomass & Bioenergy* 64 (1): 99–109.
- Nilsson, D. & Rosenqvist, H. 2019. Lönsamheten för odling på marginalmarker. Uppsala, Sveriges lantbruksuniversitet, Institutionen för energi och teknik. Rapport 109.
- Nilsson, Per, SLU Riksskogstaxeringen, personlig kommunikation.

- Olofsson, J. & Börjesson, P. 2016. Nedlagd åkermark för biomassaproduktion – kartläggning och potentialuppskattning. f3-rapport 2016:01. S. K. f. F. Drivmedel.
- Persson, P.-O., Rytter, L., Johansson, T. & Hjelm, B. 2015. Handbok för odlare av Poppel och Hybridasp. Jordbruksverket, Jönköping, 24 p.
- Plantskolor; Svenska Skogsplantor, Sundins Skogsplantor, Ramlösa Plantskola AB, Sydplantor AB, Skadoms Plantskola, Next Forest AB, personlig kommunikation.
- Porsö, C. & Hansson, P. A. 2014. Time-dependent climate impact of heat production from Swedish willow and poplar pellets – In a life cycle perspective. *Biomass & Bioenergy* 70: 287–301.
- Randlane, T., Tullus, T., Saag, A., Lutter, R., Tullus, A., Helm, A. Tullus, H. & Pärtel, M. 2017. Diversity of lichens and bryophytes in hybrid aspen plantations in Estonia depends on landscape structure. *Canadian Journal of Forest Research* 47:1202–1214.
- Redondo, M.A., Boberg, J., Olsson, C.H.B. & Oliva, J. 2015. Winter conditions correlate with *Phytophthora alni* subspecies distribution in Southern Sweden. *Phytopathology* (105), 1191–1197.
- Richards, T., A. Karacic, R. P. Apuli, M. Weih, P. K. Ingvarsson & Rönnberg Wästljung, A. 2020. Quantitative genetic architecture of adaptive phenology traits in the deciduous tree *Populus trichocarpa* (Torr. & Gray). *Heredity* 125(6): 449–458.
- Russel, J. 2008. Deployment of deer-resistant western redcedar (*Thuja plicata*). In: Dumroese, R. K.; Riley, L. E., tech. coords. National Proceedings: Forest and Conservation Nursery Associations-2007. Proc. RMRS-P-57. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station. p. 149–153.
- Rytter, L. 1996. Grey alder in forestry: a review. *Norwegian Journal of Agricultural Sciences*, Suppl. 24: 61–78.
- Rytter L, Johansson T, Karacic A, Weih M. 2011. Orienterande studie om ett svenskt forskningsprogram för poppel. Skogforsk, Uppsala, 212 s.
- Rytter, L. 2019. Sustainable cultivation of hybrid aspen with natural shoot regeneration. Skogforsk, Arbetsrapport 1014–2019.
- Rytter, L. & Lundmark, T. 2014. Trädslagsförsök med inriktning på biomassaproduktion – Etapp 2. Skogforsk. Arbetsrapport 837–2014.
- Rytter L. & Stener L-G. 2014. Growth and thinning effects during a rotation period of hybrid aspen in southern Sweden. *Scand J For Res* 29(8):747–756.
- Rytter, L. & Stener, L.-G. 2015. Grey alder and hybrid alder – potentials for increasing biomass production for energy in Sweden. Skogforsk, Arbetsrapport no 889, Uppsala, p. 31.
- Rytter, R.-M. 2016. Afforestation of former agricultural land with Salicaceae species – Initial effects on soil organic carbon, mineral nutrients, C:N and pH. *Forest Ecology and Management* 363: 21–30.
- Rytter, L. & Rytter, R.-M. 2016. Growth and carbon capture of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) under north European conditions – Estimates based on reported research. *Forest Ecology and Management*. 373. 56–65. 10.1016/j.foreco.2016.04.034.

- Rytter, L. & Rytter, R.-M. 2017. Productivity and sustainability of hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) root sucker stands with varying management strategies. *Forest Ecology and Management* 401: 223–232.
- Rytter, R.-M. & Rytter, L. 2018. Effects on soil characteristics by different management regimes with root sucker generated hybrid aspen (*Populus tremula* L. × *P. tremuloides* Michx.) on abandoned agricultural land. *Iforest-Biogeosciences and Forestry* 11: 619–627.
- Rytter, R. M. & Rytter, L. 2020. Carbon sequestration at land use conversion – Early changes in total carbon stocks for six tree species grown on former agricultural land. *Forest Ecology and Management* 466.
- Rytter, L., Arveby, A.S. & Granhall, U. 1991. Dinitrogen (C₂H₂) fixation in relation to nitrogen fertilization of grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) plantations in a peat bog. *Biology and Fertility of Soils* 10: 233–240.
- Rytter, L., Johansson, K., Karlsson, B. & Stener, L.-G. 2013. 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 Media, New York.
- Rytter L, Karlsson, A., Karlsson, M. & Stener, L.-G. 2014. Skötsel av björk, al och asp. Skogsstyrelsen, Skogsskötselserien.
- Rytter, L., M. Ingerslev, A. Kilpeläinen, P. Torssonen, D. Lazdina, M. Lof, P. Madsen, P. Muiste & L. G. Stener. 2016. Increased forest biomass production in the Nordic and Baltic countries – a review on current and future opportunities. *Silva Fennica* 50(5).
- Samec 2021. Bomullssubstitut och biodrivmedel från snabbväxande lövträd med katalytisk fraktionering. Slutrapport av projekt 45903-1. Energimyndigheten. 12 s.
- Santangelo, E., Scafaroni, A., Del Guidice, A., Acampora, A., Alfano, V., Suardi, A., & Pari L. 2015. Harvesting systems for poplar short rotation coppice. *Industrial Crops and Products* 75:85–92.
- Santisteban-Arenas, R., G. Castaño-villa, J. Estevez, and F. Fontúrbel. 2019. Foraging behavioural traits of tropical insectivorous birds lead to dissimilar communities in contrasting forest habitats. *Wildlife Biology* 2019:1–6.
- Schüberg, H. 2015. Resultat från norrländska försök med nya hybridaspkorsningar – Slutrapport 2015 för Energimyndighetens projekt 35136-1. Skogforsk, Uppsala, 10 s.
- Skogsdata. 2019. Official Statistics of Sweden. Forest statistics 2019. Swedish University of Agricultural Sciences. Umeå: 138 pp.
- Sky, S., & Wagner, M. 2007. Forest Plantations and Biodiversity: A Fresh Perspective. *Journal of Forestry* 105:307–313.
- Solbär, L. (2011). Nyodling i Sverige under 2000-talet. Förekomst och orsaker – en preliminär analys. Rapporter och notiser / Institutionen för kulturgeografi och ekonomisk geografi vid Lunds universitet; Vol. 172. Institutionen för kulturgeografi och ekonomisk geografi, Lunds universitet.
- Stedingk, Henrik von, FSC, personlig kommunikation.

- Stener, L.-G. 2007. Utvärdering av sydsvenska avkommeförsök med klibbal. Skogforsk, Arbetsrapport nr 649, 46 s.
- Stener L.-G. 2010. Tillväxt, vitalitet och densitet för kloner av hybridasp och poppel i sydsvenska fältförsök. In: Arbetsrapport no. 717. Skogforsk, Uppsala.
- Stener, L.-G. & Karlsson, B. 2004. Improvement of *Populus tremula* × *P. tremuloides* by phenotypic selection and clonal testing. *Forest Genetics* 11: 13–27.
- Stener, L.-G. & Westin, J. 2015. Resistenstest av poppel – Slutrapport 2015 för Energi-myndighetens projekt 35136-1. Skogforsk, Uppsala, 8 s.
- Stener, L.-G. & Westin, J. 2017. Early growth and phenology of hybrid aspen and poplar in clonal field tests in Scandinavia. *Silva Fennica* 51(3): id 5656.
- Stener, L.-G. 2019. Tillväxt och densitet för kloner av hybridasp och poppel. Resultat från ett försök i Remningstorp, Västra Götaland. Arbetsrapport 1023–2019. Skogforsk. 24 s.
- Stener, L.-G., Westin, J. & Stenlid, J. 2015. Resistenstest av hybridasp – Slutrapport 2015 för Energimyndighetens projekt 35136-1. Skogforsk, Uppsala, 11 s.
- Stenvall, N., Haapala, T. & Pulkkinen, P. 2006. The role of a root cutting's diameter and location on the regeneration ability of hybrid aspen. *For. Ecol. Manage.* 237: 150–155.
- Stener, L.-G., Rungis, D., Belevich, V. & Malm, J. 2018. Change of clonal frequency in the second root sucker generation of hybrid aspen. *Forest Ecology and Management* 408: 174–182.
- Styles, D., P. Börjesson, T. D'Hertefeldt, K. Birkhofer, J. Dauber, P. Adams, S. Patil, T. Pagella, L. B. Pettersson, P. Peck, C. Vaneeckhaute & H. Rosenqvist. 2016. Climate regulation, energy provisioning and water purification: Quantifying ecosystem service delivery of bioenergy willow grown on riparian buffer zones using life cycle assessment. *Ambio* 45(8): 872–884.
- Subramanian, N., Bergh, J., Johansson, U. Nilsson U. & Sallnäs, O. 2016. Adaptation of Forest Management Regimes in Southern Sweden to Increased Risks Associated with Climate Change. *Forests* 7(1).
- Sundberg, S., Carlberg, T., Sandström, J., Thor, G. 2019. Värdväxters betydelse för andra organismer – med fokus på vedartade värdväxter. ArtDatabanken rapporterar. ArtDatabanken SLU, Uppsala.
- Sängstuvall, L. 2018. Improved harvesting technology for thinning of small diameter stands: Impact on forest management and national supply of forest biomass. Doctoral thesis, Faculty of Forest Sciences, Department of Forest Resource Management, Swedish University of Agricultural Sciences, Umeå.
- Södra 2021a. Produkter pappersmassa (sodra.com). Hämtad 2021-05-03.
- Södra 2021b. Produkter dissolvingmassa (sodra.com). Hämtad 2021-05-03.
- Taeroe, A., Nord-Larsen, T., Stupak, I & Raulund-Rasmussen, K. 2015. Allometric biomass, biomass expansion factor and wood density models of the OP42 hybrid poplar in southern Scandinavia. *Bioenergy Research* 8(3): 1332–1343.
- Tullus H., Tullus A., Rytter L. 2013. 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, pp. 39–56.

- Tullus, T., A. Tullus, E. Roosalu, R. Lutter, & H. Tullus. 2015. Vascular plant and bryophyte flora in midterm hybrid aspen plantations on abandoned agricultural land. *Canadian Journal of Forest Research* 45:1183–1191.
- UNECE & FAO. 2011. The European forest sector outlook study II 2010–2030. New York and Geneva: United Nations.
- Uri, V., Kukumägi, M., Aosaar, J., Varik, M., Becker, H., Soosaar, K., ... & Karoles, K. (2017). Carbon budgets in fertile grey alder (*Alnus incana* (L.) Moench.) stands of different ages. *Forest Ecology and Management*, 396, 55–67.
- Verkerk P.J., Anttila P., Eggers J., Lindner M. & Asikainen A. 2011. The realisable potential supply of woody biomass from forests in the European Union. *For Ecol Manag* 2011;261:2007e15.
- Vico, G., Karacic, A., Adler, A., Richards, T., & Weih, M. 2021. Consistent Poplar Clone Ranking Based on Leaf Phenology and Temperature Along a Latitudinal and Climatic Gradient in Northern Europe. *Bioenergy Research*, in press. DOI: 10.1007/s12155-021-10249-5
- Wang, X., Shi, C. M., Gleason, M. L., & Huang, L. 2020. Fungal species associated with apple Valsa canker in East Asia. *Phytopathology Research*, 2(1), 1–14.
- Weih, M., Karacic, A., Munkert, H., Verwijst, T. & Diekmann, M. 2003. Influence of young poplar stands on floristic diversity in agricultural landscapes (Sweden). *Basic and Applied Ecology* 4(2): 149–156.
- Zasada, J. C., Viereck, L. A., Foote, M. J., Parkenson, R. H., Wolff, J. O., & Lankford Jr, L. A. 1981. Natural regeneration of balsam poplar following harvesting in the Susitna Valley, Alaska. *The Forestry Chronicle*, 57(2), 57–65.
- Öhman, Marcus, Energy Engineering, Division of Energy Science, Luleå University of Technology, personlig kommunikation.

Hållbar energi för alla

Energimyndigheten leder samhällets omställning till ett hållbart energisystem.

Vi bidrar med fakta, kunskap och analyser om tillförsel och användning av energi i samhället, och arbetar för en trygg energiförsörjning.

Forskning om framtidens fordon och bränslen, förnybara energikällor och smarta elnät får stöd av oss. Vi stöttar också affärsutveckling som gör det möjligt att kommersialisera innovationer och ny teknik, och ser till att goda lösningar kan exporteras.

Vi ansvarar för Sveriges officiella statistik på energiområdet, och hanterar elcertifikatsystemet och handeln med utsläppsrätter.

Dessutom deltar vi i internationella klimatsamarbeten, och förmedlar fakta om effektivare energianvändning till hushåll, företag och myndigheter.



Energimyndigheten, Box 310, 631 04 Eskilstuna
Telefon 016-544 20 00, Fax 016-544 20 99
E-post registrator@energimyndigheten.se
www.energimyndigheten.se