



PAJUN HYVÄT OMINAISUUDET JA JALOSTUSMAHDOLLISUUDET

Kirjallisuuskatsaus

Herkko Metsämäki
2026

Sisällys

1	Johdanto	2
2	Pajun ominaisuudet	2
3	Pajun jalostusmahdollisuudet	4
4	Ympäristövaikutukset.....	6
4.1	Ekologiset vaikutukset	6
4.2	Ilmastovaikutukset	6
4.3	Vaikutukset maaperään ja vesistöihin.....	7
5	Fytoremediaatio.....	7
6	Pajun viljely.....	9
6.1	Yleiskatsaus pajun viljelyyn.....	9
6.2	Lajikkeet	11
6.3	Pellon valmistelu	14
6.4	Pajun istuttaminen	15
6.5	Pajuviljelmän hoitotoimenpiteet.....	17
6.5.1	Pajuviljelmän lannoitus.....	17
6.5.2	Muut hoitotoimenpiteet	19
6.6	Sadonkorjuu.....	19
6.7	Pajunviljelyn päättäminen lohkolla	22
6.8	Pajun viljelyyn liittyvät riskit.....	23
7	Yhteenveto	26

1 Johdanto

Tämä kirjallisuusselvitys on osa Pajuarvoketjuista uutta liiketoimintaa -hanketta, jota toteuttaa satakuntalainen Satafood Kehittämisyhdistys ry. Selvityksen tavoitteena on tarkastella pajun (*Salix* spp.) ominaisuuksia, viljelyä ja jalostusmahdollisuuksia sekä niiden merkitystä biotalouden ja kiertotalouden näkökulmasta.

Paju on nopeasti kasvava puuvartinen kasvi, jolla on poikkeuksellisen monipuolinen käyttöpotentiaali. Sen biomassassa soveltuu energiantuotantoon, biohiilen valmistukseen sekä biopohjaisiin materiaaleihin. Pajun kuori sisältää lisäksi bioaktiivisia yhdisteitä, kuten tanniineja ja salisiineja, joita voidaan hyödyntää kemianteollisuudessa, kosmetiikassa ja lääketieteessä. Näiden ominaisuuksien ansiosta paju tarjoaa mahdollisuuksia korkean jalostusasteen biotaloustuotteiden kehittämiseen.

Pajun merkitys korostuu erityisesti nykyisessä yhteiskunnallisessa tilanteessa, jossa etsitään ratkaisuja fossiilisten raaka-aineiden korvaamiseen, ravinteiden kierrätyksen tehostamiseen sekä maankäytön ilmastovaikutusten vähentämiseen. Suomessa keskustelu turvetuotannon vähenemisestä ja turvealueiden jatkokäytöstä on lisännyt kiinnostusta uusiin biomassakasveihin, joita voidaan viljellä myös heikkotuottoisilla mailla. Pajun viljely soveltuu monille tällaisille alueille, kuten entisille turvetuotantoalueille, turvepelloille ja viljelystä poistuneille pelloille. Samalla pajun viljely voi tuottaa ympäristöhyötyjä esimerkiksi ravinnekuormituksen vähentämisen, maaperän parantumisen ja hiilensidonnan kautta.

Kirjallisuusselvityksen keskeisimpänä lähteenä on käytetty Luonnonvarakeskuksen vuonna 2022 julkaisemaa synteesiraporttia Pajut biokierrätyksessä – materiaaleja, arvoaineita ja ympäristöhyötyjä. Kyseinen raportti on yksi tuoreimmista kotimaisista pajua käsittelevistä tutkimuksista, ja se kokoaa yhteen tietoa pajun ominaisuuksista, jalostusmahdollisuuksista sekä ympäristövaikutuksista.

Tässä selvityksessä tarkastellaan viljellyn pajun ominaisuuksia ja niiden mahdollistamia jalostusmahdollisuuksia biotaloustuotteiksi. Selvityksessä käsitellään pajun biologisia ja kemiallisia ominaisuuksia, erilaisia jalostusketjuja sekä pajun ympäristövaikutuksia, kuten biodiversiteettiä, hiilensidontaa ja ravinnekiertoa. Lisäksi tarkastellaan pajun viljelyn käytännön toteutusta, lajikevalintaa sekä viljelyyn liittyviä riskejä.

Selvityksen tavoitteena on muodostaa kokonaiskuva pajun potentiaalista biokierrätyksessä sekä tarjota tietopohjaa uusien pajuun perustuvien arvoketjujen ja liiketoimintamahdollisuuksien kehittämiseksi.

2 Pajun ominaisuudet

Paju (*Salix* spp.) on yksi nopeimmin kasvavista puuvartisista kasvilajeista Suomessa. Sen vuosittainen kasvu voi olla useita metrejä, ja biomassan tuotantopotentiaali ylittää monin paikoin tavanomaisen metsän kasvun. Pajun vuotuinen kuivabiomassan tuotto voi olla 5–12 tonnia hehtaarilta, kun metsän kasvu jää usein 2–4 tonniin. Tämä tekee pajusta tehokkaan raaka-aineen sekä energia- että materiaalit tuotantoon. Biomassatuotannossa paju on huomattavasti tehokkaampi kuin perinteinen metsäkasvillisuus ja kilpailukykyinen esimerkiksi ruokohelven ja poppelin kanssa.

Paju hyödyntää tehokkaasti vettä ja ravinteita, minkä vuoksi se soveltuu hyvin myös jätevesien ja lietteiden ravinteiden kierrätykseen. Pajun juuristo sitoo ravinteita ja estää niiden huuhtoutumista vesistöihin, samalla kun kasvi hyödyntää niitä biomassan tuotannossa. Tämän ominaisuuden ansiosta

pajua voidaan viljellä esimerkiksi kosteikkoalueilla tai ravinnekuormitteisilla mailla ympäristöhyötyjä tuottaen. Monimuotoisuuden näkökulmasta paju on ekosysteemeille tärkeä kasvi. Se on kevään ensimmäisiä kukkijoita ja tarjoaa varhaista ravintoa pölyttäjille, erityisesti mehiläisille ja kimalaisille. Pajupensaikot tarjoavat myös suojaa ja elinympäristöjä lukuisille hyönteisille ja linnuille, mikä vahvistaa paikallista biodiversiteettiä.

Hiilensidonnan kannalta paju on erinomainen kasvi: se sitoo nopeasti hiiltä sekä runsaaseen maanpäälliseen biomassaansa että maaperään. Pajun laaja ja syväle ulottuva juuristo lisää maaperän hiilivarastoa ja tukee maaperän mikrobiologista aktiivisuutta. Juurimassan ja lehtien maatumisen kasvattaa humuspitoisuutta, parantaa maan rakennetta ja lisää sen vedenpidätyskykyä. Juuristo ja karikke tukevat sienijuurien (mykorritsojen) ja hajottajamikrobien toimintaa, mikä lisää maaperän elinvoimaa ja ravinteiden kiertoa. Pajun juuret kuohkeuttavat maata ja läpäisevät jankon, mikä parantaa veden ja ilman kulkua maaprofiilissa. Lisäksi paju ehkäisee eroosiota ja edistää vedenhallintaa rinteillä ja pelloilla.

Kemialliselta koostumukseltaan pajun puuainees sisältää ligniiniä, selluloosaa ja hemiselluloosaa, jotka tekevät siitä soveltuvan raaka-aineen biopohjaisille materiaaleille, kuten biomuoveille, biokomposiiteille ja biokuiduille. Pajun kuori sisältää lisäksi tanniineja, salisiineja ja muita bioaktiivisia yhdisteitä, joita voidaan hyödyntää nahan parkituksessa, luonnonmukaisessa värjäyksessä, kosmetiikassa sekä antibakteerisissa tuotteissa terveys- ja elintarviketeollisuudessa. Näiden yhdisteiden talteenotto ja jalostus avaavat uusia mahdollisuuksia korkean lisäarvon biokemiallisille tuotteille.

Rakenteellisesti paju on sitkeää ja joustavaa puuainesta, jonka kuiturakenne tekee siitä kestävä ja muotoutuvan materiaalin punontaan, rakenteisiin ja biokomposiitteihin. Pajurungon tiheys kuivana on noin 300–500 kg/m³. Pajun huokoinen rakenne puolestaan tekee siitä erinomaisen raaka-aineen biohiilen valmistukseen. Pajusta tuotettu biohiili soveltuu maatalouden maanparannukseen, karjatalouden kuivikkeisiin, viherrakentamiseen, veden ja ilman suodatukseen sekä metallinjalostuksessa biokoksina pelkistystarkoituksiin. Pajun huokoisuuden ansiosta se on erinomainen raaka-aine korkealaatuisen aktiivihiihen valmistukseen, jota tarvitaan esimerkiksi kemianteollisuudessa ja lääketeollisuudessa. Pajun ominaisuudet tekevät siitä monipuolisen ja ekologisesti kestävä raaka-aineen niin perinteisiin kuin moderneihin käyttökohteisiin.

Ihmiskunnan historiassa pajun hyödylliset ominaisuudet on tunnettu pitkään. Punontaan sopivaa pajua on hyödynnetty punontatöissä mm. korien valmistamiseen (Kuva 1). Pajun kuoresta saatavaa kuoriuutetta on käytetty jo pitkään mm. kuumeen ja särkyjen hoitoon. Lääkinnällinen vaikutus perustuu uutteen salisyylihappoon. Pidemmässä käytössä sen tiedetään aiheuttavan vatsakipuja, joka oli yksi syy tarpeelle kehittää lääkettä pidemmälle. Pitkään 1800-luvulla jatkunut tuotekehitys päättyi vuosisadan lopulla asetyylisalisyylihapon syntymiseen, joka tunnetaan paremmin nimellä aspiriini. Aspiriini oli aikanaan mullistava keksintö ensimmäisenä teollisena tulehduskipulääkkeenä ja myöhemmin aspiriinin havaittiin ehkäisevän myös veritulppaa.



Kuva 1 Kuvassa vasemmalla viljeltyä punontapajua varastossa nippuina (Heino & Hytönen, 2015, s. 8). Oikealla valmiita punontatuotteita, kuten koreja (pajuparvi.fi).

Kuoresta saatavaa uutetta on hyödynnetty myös perinteiseen kasvivärjäykseen, kuten esimerkiksi lankojen ja kankaiden värjäämiseen. Pajun kuoriuutteen sisältämiä parkkihappoja on käytetty nahnan parkitsemiseen. Tanniinit sitoutuvat nahnan proteiineihin, tehden nahasta kulutusta ja säätä kestäväää sekä pilaantumaton. Kasviparkitus onnistuu myös monella muulla puulajilla ja jopa joidenkin kasvien lehdistä tai juurilla. Pajun parkitusominaisuudet ovat erityisen hyvät ja sillä parkittu nahka saa kauniin ruskean värin. Kasviparkitsemalla valmistettua nahkaa pidetään kaikkein laadukkaimpana ja se on ennen kaikkea myrkytöntä ihmiselle ja ympäristölle, toisin kuin valtaosa nykyisin valmistettavasta raskasmetalleilla (alumiini ja kromi) parkittavasta nahasta.

Perinteisten luonnosta hankittujen materiaalien käyttötarkoitusten tunteminen ja hyödyntäminen toimisi nykypäivän haasteiden ratkaisemiseen, yleisesti ottaen ja myös pajun kohdalla. Punotut korit ovat paitsi esteettisesti kauniita, myös kestäviä ja pitkäikäisiä, ekologisia ja tuovat esiin paikallista kulttuuria ja käsityöosaamista. Kuitenkin pajun kuoresta uuttamalla saatavat bioaktiiviset aineet, tanniinit, salisiinit ym., ovat teolliselta potentiaaliltaan erityisen kiinnostavia.

Lähteet

Viherä-Aarnio, A., Jyske, T., & Beuker, E. (2022). Pajut biokiertoaloudessa - Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhöyryjä: Synteesiraportti. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/551568>

Heino, E., & Hytönen, J. (2015, tammikuuta 1). Suomalainen pajukirjallisuus, Finnish bibliography on willow. Luonnonvarakeskus.

3 Pajun jalostusmahdollisuudet

Paju (*Salix* spp.) tarjoaa laajan kirjon jalostusmahdollisuuksia, jotka ulottuvat perinteisistä punontatuotteista korkean lisäarvon biokemiallisiin yhdisteisiin ja energiatuotteisiin. Pajun nopea kasvu, uusiutuvuus ja monipuolinen koostumus tekevät siitä merkittävän raaka-aineen sekä paikallisessa että teollisessa mittakaavassa. Jalostusmahdollisuudet voidaan jakaa kolmeen pääluokkaan: materiaallinen käyttö, kemialliset sovellukset sekä energia- ja hiilituotteet.

Pajua on perinteisesti hyödynnetty punontatuotteissa, kuten koreissa, aidoissa ja kalusteissa, joissa sen joustava ja kestävä kuiturakenne on erityisen eduksi. Perinteisen käsityön rinnalle on noussut uusia sovelluksia, kuten biokomposiitit ja biopohjaiset rakennusmateriaalit. Pajukuituja voidaan käyttää muovien ja hartsien vahvikkeina esimerkiksi huonekaluissa, sisustuslevyissä ja rakennuselementeissä. Pajusta valmistetut levyt ja eristeet voivat toimia vaihtoehtona fossiilipohjaisille materiaaleille, ja niiden hiilijalanjälki on huomattavasti pienempi. Pajun kuori ja puu sisältävät useita arvokkaita yhdisteitä, joita

voidaan hyödyntää biokemian, kosmetiikan ja lääketeollisuuden raaka-aineina. Pajunkuoren tanniinit soveltuvat nahan parkitsemiseen ja luonnonmukaiseen värjäykseen, mutta niillä on myös potentiaalia korroosiosuojissa ja biopohjaisissa pinnoitteissa. Pajun tunnetuin yhdiste, salisiini, on asetyylisalisyylihapon (aspiriinin) luonnollinen esiaste. Pajun uutteita voidaan hyödyntää myös antibakteerisina aineina elintarvike- ja terveysteknologian sovelluksissa, kuten biosuojapinnoitteissa ja haavanhoitotuotteissa. Lisäksi pajusta voidaan eristää bioaktiivisia uutteita ja biopohjaisia liuottimia, joilla on käyttöä kemianteollisuudessa, puhdistusaineissa ja desinfiointituotteissa. Pajun bioaktiivinen potentiaali tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia tulevaisuuden luonnonmukaisissa ja terveysteknologisissa innovaatioissa.

Paju on erinomainen bioenergiakasvi: sen vuosituotto on korkea ja uusiutuminen nopeaa. Pajuhake soveltuu lämmön- ja sähköntuotantoon, ja sen lämpöarvo (noin 18–19 MJ/kg) on samaa luokkaa kuin puupolttoaineilla yleisesti. Biohiili on yksi lupaavimmista jalosteista. Sitä voidaan käyttää maataloudessa maanparannusaineena, karjataloudessa kuivikkeena, viherrakentamisessa sekä vesi- ja ilmansuodatuksessa. Pajusta valmistettu biohiili on huokoista ja kemiallisesti stabiilia, mikä tekee siitä myös tehokkaan hiilivaraston. Pyrolyysiöljy ja kaasujalosteet ovat pajubiomassasta saatavia tuotteita, joita voidaan hyödyntää biopolttoaineina ja kemianteollisuuden raaka-aineina. Näiden tuotteiden avulla paju voi tukea fossiilisten raaka-aineiden korvaamista ja energiaomavaraisuuden kasvattamista. Pajuviljelmät ja biohiilen käyttö tarjoavat lisäksi mahdollisuuden hiilikrediittien tuottamiseen, mikä voi muodostaa uuden tulonlähteen viljelijöille ja yrityksille.

Pajun jalostus voidaan rakentaa useisiin eri arvoketjuihin. Esimerkiksi viljelystä voidaan edetä kuorintaan ja uutteiden valmistukseen, jotka toimivat raaka-aineina kosmetiikka-, lääke- ja kemianteollisuudessa. Biomateriaaliketjuissa paju kulkee hakkeesta tai lastuista biokomposiittiin ja kuluttajatuotteisiin, kuten huonekaluihin tai rakennuselementteihin. Energia-arvoketjuissa paju voidaan hyödyntää paikallisessa lämmöntuotannossa, pyrolyysiprosesseissa tai kaasunjalostuksessa. Näiden arvoketjujen kehittäminen edellyttää yhteistyötä viljelijöiden, jalostajien ja tutkimustoimijoiden välillä.

Pajun jalostus tarjoaa merkittäviä mahdollisuuksia paikallistaloudelle ja kiertotaloudelle. Pienimuotoinen jalostus, kuten kuorinta, kuivatus ja uuttaminen, voidaan toteuttaa maatilamittakaavassa ilman suuria investointeja. Pajun monipuolinen käyttö tukee maaseutuyrittäjyyttä, paikallisia brändejä ja alueellista omavaraisuutta. Pajun viljely voidaan yhdistää kosteikkoviljelyyn, ravinnekierrätykseen ja maisemanhoitoon, jolloin se tuottaa sekä taloudellisia että ekologisia hyötyjä. Pajun hiilensidonta ja biohiilen valmistus puolestaan tukevat EU:n vihreän siirtymän ja kiertotalousstrategian tavoitteita, joissa korostetaan uusiutuvia materiaaleja ja hiilineutraalia tuotantoa.

Tässä luvussa mainittuja teemoja täydentävät erillisissä katsauksissa käsiteltävät käyttökohteet, kuten kuivikkeet, biohiilen jatkosovellukset ja kasvualustat. Näiden rinnalla paju muodostaa laaja-alaisen raaka-aineen, jonka jalostus voi yhdistää ekologisuuden, paikallisen lisäarvon ja kestäväen liiketoiminnan.

Lähteet

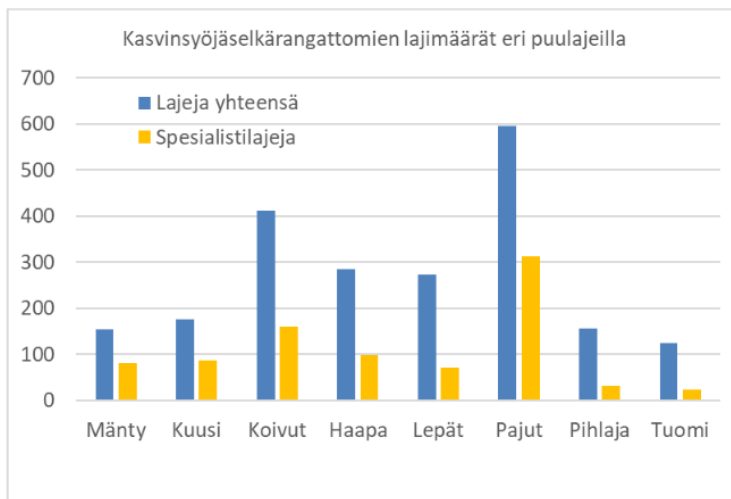
Viherä-Aarnio, A., Jyske, T., & Beuker, E. (2022). Pajut biokiertotaloudessa - Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä: Synteesiraportti. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/551568>

4 Ympäristövaikutukset

Paju on ekologisesti hyvin monipuolinen ja sillä on paljon ympäristön kannalta potentiaalisia käyttötarkoituksia pohjoisilla leveysasteilla. Sen käyttö on mahdollista ulottaa luonnon monimuotoisuuden vahvistamisesta hiilensidontaan ja vesistöjen suojeluun. Pajun ympäristövaikutukset riippuvat kuitenkin olennaisesti viljelyn toteutustavasta ja paikallisista olosuhteista. Viljelyn toteutus on kuitenkin suunniteltava huolellisesti, sillä vääränlaisilla viljelytoimenpiteillä voi olla myös lähiympäristölle haitallisia vaikutuksia.

4.1 Ekologiset vaikutukset

Pajuviljelmät tarjoavat useita ekosysteemipalveluja. Pajut ovat kevään ensimmäisiä kukkijoita, ja ovat siksi elintärkeitä ravinnonlähteitä pölyttäjäille, kuten mehiläisille ja kimalaisille. Pajun pensaikko- ja tiheikkötyyppinen kasvusto luo myös suojapaikkoja linnuille, hyönteisille ja pieneläimille. Hirvelle paju on tärkeä ravintokasvi. Näin paju edistää biodiversiteettiä erityisesti alueilla, joilla muut kasvillisuustyypit ovat yksipuolistuneet. Pajua voidaan hyödyntää maisemanhoidossa, suojavyöhykkeinä ja kosteikkokasvina, jolloin se tukee luonnon ekologisia verkostoja ja edistää maaseudun maisemallista monimuotoisuutta. Kuva 2 havainnollistaa pajun merkitystä biodiversiteetin vahvistajana.



Kuva 2 Borealisilla puulajeilla elävien ja niille erikoistuneiden kasvinsyöjäselkärangattomien määrä ilmentää eripuulajien merkitystä ekosysteemien monimuotoisuudessa (Viherä-Aarnio ym., 2022, s. 34)

Negatiivisia vaikutuksia voi kuitenkin ilmetä, mikäli paju istutetaan monokulttuurina alueille, joilla ennestään on korkea luonnon monimuotoisuus, kuten niityille tai vanhoihin metsiin. Pajuviljelmien ympäristöhyödyt ovat selkeimmät silloin, kun ne perustetaan kasvuolosuhteiltaan heikentyneille alueille, kuten entisille turvesoille, joutomaille tai ravinnekuormitetuille pelloille. Näissä tapauksissa pajun viljely voi toimia maiseman ekologisena kunnostuksena.

4.2 Ilmastovaikutukset

Pajulla on huomattava hiilensidontakyky. Nopeakasvuisuutensa ansiosta se sitoo hiiltä sekä maanpäälliseen biomassaansa että laajaan juuristoonsa. Lehtikarikeri sekä juurimassa lisäävät maan orgaanisen aineksen määrää. Hehtaaria kohden pajun kasvu sitoo kokonaisuudessaan noin 15 tonnia hiilidioksidia vuodessa kasvustoonsa ja juuristoonsa. Pajun hiilensidontamäärästä kerrotaan enemmän luvussa 6.6 Sadonkorjuu. Pajun hiilensidontapotentiaalia voidaan vahvistaa käyttämällä

biomassaa pitkäikäisissä tuotteissa, kuten rakennusmateriaaleissa, biokomposiiteissa tai biohiilenä. Varsinkin biohiili varastoi hiiltä pitkäaikaisesti, sillä se voi säilyä maaperässä satoja vuosia. Pajun viljely tukee siten ilmastoystävällistä maankäyttöä ja hiilen nettosidonta mahdollistaa hiilikrediittien muodossa tapahtuvan hiilensidontaliiketoiminnan, jossa hiilidioksidipäästöjä toisaalla aiheuttava toimija voi kompensoida päästöjään ostamalla pajun kasvatuksella tuotettuja hiilensidontakrediittejä.

4.3 Vaikutukset maaperään ja vesistöihin

Paju vaikuttaa positiivisesti maaperän rakenteeseen ja vedenhallintaan. Pajun juuristo pystyy läpäisemään pellon viljelykerroksen alapuolista kerrosta, jankkoa, joka on usein tiivistynyt vettä huonosti läpäiseväksi raskaan viljelykaluston takia. Sen syvä ja laaja juuristo puhkoo tiivistynyttä maata puolen metrin matkalta ja näin kuohkeuttaa maata, parantaa maan vedenläpäisevyyttä ja maan hapettumista sekä ehkäisee eroosiota. Pajun karike ja juuriston hajoaminen lisäävät maaperän orgaanista hiiltä humuksen muodossa ja edistävät mikrobien ja mykorritsasienten toimintaa, mikä parantaa maan kasvukuntoa ja ravinteiden kiertoa. Vesistövaikutuksiltaan paju toimii erinomaisena suodattimena. Pajukasvusto pystyy pidättämään valumavesien mukana tulevia ravinteita ja haitta-aineita, mikä vähentää vesistöjen rehevöitymistä. Siksi pajua voidaan käyttää suojavyyhykkeillä, valuma-alueiden hallinnassa ja kosteikkoviljelyssä. Negatiivisia vaikutuksia saattaa kuitenkin syntyä, jos viljely toteutetaan intensiivisesti: voimakas maanmuokkaus, torjunta-aineiden käyttö pintakasvillisuuden torjunnassa ja runsas lannoitus voivat heikentää maaperän eliöstöä ja lisätä ravinnekuormitusta vesistöihin. Riski vesistökuormitukselle on suuri erityisesti silloin, kun ojien varsilla ei ole riittävän leveitä suojavyyhykkeitä tai kun lannoitus on liian suurta suhteessa pajun kasvukykyyn. Kestävän pajutuotannon kannalta on tärkeää pyrkiä suhteuttamaan viljelytoimet pajun kasvukyvyn mukaisesti ja suosia orgaanisia ja kiertotalouteen perustuvia ratkaisuja.

Lähteet

Viherä-Aarnio, A., Jyske, T., & Beuker, E. (2022). Pajut biokiertoaloudessa - Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä: Synteesiraportti. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/551568>

Dawson, M. (2010). Short rotation coppice willow: Best practice guidelines (B. Caslin, J. Finnan, & A. R. McCracken, Toim.). Crops Research Centre, Teagasc ; AFBI.

5 Fytoremediaatio

Fytoremediaatio tarkoittaa kasvien hyödyntämistä saastuneiden maiden, sedimenttien tai vesien puhdistamisessa. Menetelmä perustuu kasvien kykyyn ottaa maaperästä ja vedestä ravinteita sekä erilaisia haitta-aineita ja sitoa, muuntaa tai hajottaa niitä biologisten prosessien avulla. Fytoremediaatio on osa laajempaa biologisten puhdistusmenetelmien joukkoa, mutta se eroaa esimerkiksi bioremediaatiosta siten, että kasvi on prosessin keskeinen toimija. Bioremediaatiossa puhdistus perustuu pääasiassa mikro-organismien, kuten bakteerien ja sienten, toimintaan, kun taas fytoremediaatiossa kasvi toimii sekä suoraan haitta-aineiden ottajana että välillisesti mikrobiologisten prosessien ylläpitäjänä juuriston ympäristössä. Pajun tapauksessa fytoremediaatio tapahtuu sekä juurten pinnalla että juuriston ympäristössä elävien bakteerien ja sienijuurten (mykorritsa) avulla. Fytoremediaatiolla voidaan tarkoittaa useita eri mekanismeja. Näitä ovat esimerkiksi fytoekstraktio, jossa kasvi ottaa maaperästä haitta-aineita ja kuljettaa niitä maanpäällisiin osiin, sekä fytodegradaatio, jossa orgaanisia haitta-aineita hajotetaan kasvin tai sen juuriston mikrobien avulla pienemmiksi ja vähemmän haitallisiksi yhdisteiksi. Pajun kaltaisilla nopeasti kasvavilla kasveilla tärkeä mekanismi on myös ravinteiden ja vesiliukoisten yhdisteiden tehokas ottaminen maaperästä ja vedestä. Kasvin

voimakas vedenkäyttö ja laaja juuristo mahdollistavat haitta-aineiden kulkeutumisen juuriston kautta kasviin, missä ne voivat joko sitoutua kasvikudokseen tai hajota biologisten prosessien seurauksena.

Paju (*Salix* spp.) on yksi tutkituimmista puulajeista fytoimediaation näkökulmasta. Pajun nopea kasvu, suuri biomassantuotanto, voimakas vedenkäyttö ja laaja juuristo tekevät siitä erityisen soveltuvan kasvilajin ympäristön puhdistamiseen. Pajun etuna on myös sen kyky kasvaa ravinteikkaissa ja kosteissa ympäristöissä, joissa esiintyy usein myös erilaisia saasteita. Lisäksi pajukasvuston biomassaa voidaan korjata ja hyödyntää energiantuotannossa tai muissa jalosteissa, jolloin osa haitta-aineista poistuu kohteesta sadonkorjuun yhteydessä. Biomassan käsittely esimerkiksi polttamalla tai pyrolysoimalla mahdollistaa orgaanisten yhdisteiden hajottamisen sekä raskasmetallien keskittymisen tuhkaan, joka voidaan käsitellä hallitusti. Fytoimediaatiolla on merkittävä hyödyntämispotentiaali sekä ekologisesti että taloudellisesti. Pajupohjaisia puhdistusratkaisuja on käytetty esimerkiksi jätevesien ja suotovesien käsittelyssä, ravinnepitoisten lietteiden hyödyntämisessä sekä pilaantuneiden maiden kunnostamisessa. Pajupuhdistamoiksi kutsutuissa järjestelmissä jätevesi tai ravinnepitoinen suotovesi johdetaan pajukasvuston läpi, jolloin kasvit ja niiden juuristomikrobit sitovat ravinteita ja hajottavat orgaanisia yhdisteitä. Samalla kasvit hyödyntävät ravinteita biomassan kasvuun.

Pajun lisäksi myös esimerkiksi haapaa ja erityisesti hybridihaapaa voidaan hyödyntää fytoimediaatio-käytössä. Erityisesti eurooppalaisen ja pohjoisamerikkalaisen haavan risteytyksestä syntynyt, vanhempiaan nopeakasvuisempi hybridihaapa on erittäin tehokas imemään ja hajottamaan ympäristön haitta-aineita. Hybridihaapaa hyödynnetään esimerkiksi kanadalaisen kaatopaikan suotovesien puhdistamisessa kemikaaleista ja raskasmetalleista sekä Suomessa Luumäen entisen ratapölkkykylästämaan pilaantuneen maan puhdistamisessa.

Yksi käytännön sovelluksista on puhdistamolietteen hyödyntäminen pajuviljelmillä. Ruotsissa on tutkittu laajasti jätevesilietteiden levittämistä pajukasvustoille energiapajun viljelyn yhteydessä. Tutkimusten mukaan pajukasvusto pystyy hyödyntämään lietteen sisältämiä ravinteita tehokkaasti samalla kun osa haitta-aineista sitoutuu kasvimassaan tai maaperään. Koska jätevesilietteiden käyttö elintarviketuotannossa on monin paikoin rajoitettua, pajuviljelmät voivat toimia vaihtoehtoisena kohteena ravinteiden kierrättämiseksi. Pajua on tutkittu myös pilaantuneiden maiden puhdistamisessa. Luonnonvarakeskuksen raportissa Pajut biokiertoaloudessa (Luke 2022) kuvataan useita kokeita, joissa pajua on käytetty maaperän raskasmetalli- ja orgaanisten haitta-aineiden puhdistamiseen. Pajun on havaittu pystyvän ottamaan maaperästä muun muassa kadmiumia, sinkkiä ja lyijyä sekä hajottamaan orgaanisia yhdisteitä yhteistyössä juuriston mikrobien kanssa. Pajun juuristo lisää myös maaperän mikrobitoimintaa, mikä voi nopeuttaa orgaanisten haitta-aineiden biologista hajoamista. Pajukasvustoa on hyödynnetty myös jätevesien ja suotovesien käsittelyssä. Pajujen suuri vedenkulutus tekee niistä tehokkaita veden ja ravinteiden käyttäjiä, minkä vuoksi niitä on käytetty esimerkiksi kaatopaikkojen suotovesien käsittelyssä sekä maatalouden ravinnevalumien hallinnassa. Pajukasvusto voi toimia biologisena suodattimena, joka vähentää typen ja fosforin kulkeutumista vesistöihin. Lisäksi juuriston mikrobiologinen aktiivisuus edistää orgaanisten yhdisteiden hajoamista. Ruotsissa tehdyssä tutkimuksessa *Willows for Energy and Phytoremediation in Sweden (2005)* tarkasteltiin energiapajun käyttöä sekä biomassantuotannossa että ympäristön puhdistuksessa. Tutkimuksessa todettiin, että pajuviljelmät voivat yhdistää biomassan tuotannon ja ympäristökuormituksen vähentämisen, erityisesti ravinnepitoisilla alueilla. Pajun kyky hyödyntää suuria ravinnemääriä sekä sen korkea evapotranspiraatio tekevät siitä tehokkaan kasvin jätevesien ja ravinnepitoisten valumavesien käsittelyyn. Myös *Short Rotation Coppice Willow: Best Practice Guidelines (2010)* käsittelee pajun käyttöä bioremediaatiossa ja fytoimediaatiossa. Ohjeistuksen mukaan pajuviljelmät voivat toimia osana ympäristön kunnostusstrategiaa erityisesti kohteissa, joissa tarvitaan pitkäaikaista biologista

puhdistusta. Tutkimuksissa on havaittu, että pajun juuriston mikrobiologinen aktiivisuus voi edistää orgaanisten haitta-aineiden, kuten PAH-yhdisteiden, hajoamista maaperässä.

Fytoremediaation tehokkuuteen vaikuttaa useita tekijöitä. Yksi keskeisimmistä on kasvin kasvupotentiaali, sillä puhdistusteho on suoraan yhteydessä biomassan tuotantoon ja kasvin ravinteiden sekä veden käyttöön. Pohjoisilla alueilla kasvukausi on lyhyempi kuin eteläisemmissä ilmastoissa, mikä voi rajoittaa fytoremediaation tehokkuutta. Toisaalta pajun hyvä kylmänsietokyky ja nopea kasvu tekevät siitä yhden soveltuvimmista kasveista pohjoisiin olosuhteisiin. Toinen keskeinen tekijä on kasvilajin kyky sietää kohteen olosuhteita ja saasteita. Pajulajien välillä on merkittäviä eroja esimerkiksi raskasmetallien sietokyvyssä ja vedenkäytössä. Lisäksi kasvin ja maaperän mikrobien välinen vuorovaikutus vaikuttaa siihen, kuinka tehokkaasti haitta-aineita voidaan hajottaa tai sitoa. Joissakin tapauksissa kasvin juuriston mikrobit voivat muuntaa haitallisia yhdisteitä vähemmän haitalliseen muotoon tai nopeuttaa niiden biologista hajoamista. Fytoremediaatio tarjoaa siten mahdollisuuden yhdistää ympäristön kunnostus, ravinteiden kierrätys ja biomassantuotanto. Pajun kaltaiset nopeasti kasvavat kasvit voivat toimia biologisina puhdistusjärjestelminä samalla kun niiden tuottama biomassa voidaan hyödyntää energiantuotannossa tai muissa biopohjaisissa tuotteissa. Tämä tekee pajusta kiinnostavan kasvin biokierrotalouden näkökulmasta, erityisesti tilanteissa, joissa ympäristön puhdistus voidaan yhdistää uusiutuvan biomassan tuotantoon.

Lähteet

Dawson, M. (2010). Short rotation coppice willow: Best practice guidelines (B. Caslin, J. Finnan, & A. R. McCracken, Toim.). Crops Research Centre, Teagasc ; AFBI.

Dimitriou, I., & Aronsson, P. (2005). Willows for energy and phytoremediation in Sweden. Swedish University of Agricultural Sciences.

https://www.researchgate.net/publication/235919880_Willows_for_energy_and_phytoremediation_in_Sweden

Hume, M. (2016, elokuuta 4). B.C. man uses poplar trees to take recycling to a whole new level. The Globe and Mail. <https://www.theglobeandmail.com/news/british-columbia/bc-man-uses-poplar-trees-to-take-recycling-to-a-whole-new-level/article31286499/>

Viherä-Aarnio, A., Jyske, T., & Beuker, E. (2022). Pajut biokierrotaloudessa - Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä: Synteesiraportti. Luonnonvarakeskus. <https://jukuri.luke.fi/handle/10024/551568>

Yle Etelä-Karjala. (2012, joulukuuta 4). *Luumäen maat puhtaiksi haapojen avulla*. Yle Uutiset. <https://yle.fi/a/3-6401869>

6 Pajun viljely

6.1 Yleiskatsaus pajun viljelyyn

Paju viihtyy monenlaisilla mailla, erityisesti kosteilla ja ravinteikkailla kasvupaikoilla. Lyhytkiertoviljelyä käytetään bioenergian ja biomassan tuotantoon, kun taas pidempikiertoinen viljely soveltuu puumateriaalin ja kuoriraaka-aineen tuottamiseen. Pajua voidaan lannoittaa orgaanisilla ja kierrätyspohjaisilla lannoitteilla, mikä tukee kestävästä ravinnekiertoa. Suomessa käytettyjä lajeja ovat mm. *Salix viminalis*, *S. dasyclados* ja *S. schwerinii*, joista on kehitetty tuottoisia ja taudinkestäviä hybridejä.

Pajun (*Salix*) viljely lyhytkiertoviljelynä tarjoaa monia hyötyjä niin biomassan kuin materiaalien tuotannon näkökulmasta. Kasvava kiinnostus johtuu siitä, että paju pystyy tuottamaan huomattavia määriä biomassaa suhteellisen lyhyessä ajassa, ja sen viljely voidaan toteuttaa heikkotuottoisilla viljamaille tai vanhoille turvesoille, joilla perinteinen viljely ei ole kannattavaa. Tällainen käyttö voi monipuolistaa maaseudun maatilataloutta ja avata uusia liiketoimintamahdollisuuksia.

Viljelyllä on lisäksi merkittäviä ympäristövaikutuksia: paju soveltuu hyvin ravinteiden kierrätykseen (esimerkiksi lietteiden ja jätevirtojen hyödyntäminen), vähentää ravinnekuormitusta vesistöihin, ehkäisee eroosiota ja tarjoaa elinympäristöä pölyttäjille sekä hyönteisille – näin se toimii ekosysteemipalvelujen tuottajana. Hiilensidonnan osalta paju on lupaava kasvi, sillä sen nopean kasvun kautta sitoutuva ja juuriston varastoituma hiili voivat muodostaa lisäarvon viljelijälle esimerkiksi hiilikrediittien kautta, vaikka markkinat ovat vielä kehitymässä.

Kansainvälisesti ja Suomessa pajun viljely on vielä varhaisessa vaiheessa mutta tutkimus- ja pilotointikäytössä. Esimerkiksi Suomessa on selvityksiä siitä, miten pajun viljely voisi sopia boreaaliseen maaperään ja ilmastoon. Euroopan mittakaavassa viljelyalaa on jo useissa maissa, kuten Ruotsissa, Tanskassa, Iso-Britanniassa ja Puolassa, mutta laajamittainen vakiintuminen puuttuu. Kaiken kaikkiaan pajun viljely edustaa yhdistelmää biomassatuotantoa, ympäristöhyötyjä ja maaseudun elinvoimaisuuden vahvistamista, mikä tekee siitä kiinnostavan viljelyskasvin perinteisen viljelyn täydentäjäksi.

Suomessa pajun viljelyä on tutkittu 1970-luvulta lähtien, tavoitteena bioenergian tuotanto. Pajua viljellään nykyisin noin 70–100 hehtaarin verran ja viljelykset ovat hajallaan toisistaan ja muutamien hehtaarien kokoluokkaa. Ruotsissa pajun viljely on isommassa mittakaavassa, vuonna 2015 pajua oli tiettävästi viljelyksessä 10 000 hehtaarin verran. Pajun viljely oli Ruotsissa suuressa nosteessa 1990- ja 2000-luvulla viljelysalan ollessa parhaimmillaan 16 000–17 000 ha luokaa. Pajun viljelyä on tuettu Ruotsissa kansallisilla tuilla. Syynä viljelyksen vähenemiseen on ollut tukipolitiikan ja energian verotuksen muutokset. Myös Iso-Britanniassa on harjoitettu laajamittaisesti pajun lyhytkiertoviljelyä 1990-luvulta lähtien ja viljelyshehtaareita on nykyään noin 4000 ha. (Viherä-Aarnio ym., 2022, s. 15; Viholainen, 2017, s. 6) Tanskassa pajua viljellään energiaksi ja paikallinen pajualan pioneeri NyVraa on kehittänyt kompostoidusta pajuhakkeesta kaupallisen tuotteen, jota käytetään mm. eläinten kuivikkeena ja kasvualustana kasvihuoneissa. Tanskan olosuhteissa tällaiselle tuotteelle ja pajun viljelylle on ollut tarvetta, sillä tanskassa ei ole soita, joista nostaa turvetta, ja metsääkin Tanskassa on hyvin niukasti. Pajuhehtaareita maasta löytyy muutama tuhat hehtaaria. Venäjällä ja Puolassa on vahva pajukorien punontaperinne. Puolassa pajuviljelystä on noin 1000 hehtaaria. Venäjällä ei ole mainittavaa pajun lyhytkiertoviljelyä, mutta monet eurooppalaiset viljelypajut ovat saaneet osan perimästään venäläisistä lajeista.

Lyhytkiertoviljeltävä paju luokitellaan EU:ssa maatalouskasviksi ja sille on saatavilla yleinen EU:n maatalouspolitiikan (CAP) mukainen perustulotuki, joka vuonna 2025 (CAP-tukikausi 2023-2027) oli 117,55 (AB-vyöhyke) tai 137,35 €/ha (C-alue) riippuen tukialueesta. Muita pajun viljelyyn saatavia suoria ja pinta-alaperusteisia maataloustukia ovat uudelleenjakotuki (19,75 €/ha 50 ha:iin asti), nuoren viljelijän tuki (95,40 €/ha 150 ha:iin asti), ekojärjestelmätuki ja ympäristökorvaus. Suomessa Ruokavirasto vastaa EU:n maataloustukien jakamisesta ja valvomisesta. Maataloustukien saamisen edellytyksenä on, että sekä viljelijän, että viljeltävän maa-alueen on oltava maataloustukikelpoista. Viljelijän kohdalla tukikelpoisuus tarkoittaa muun muassa aktiiviviljelijän statusta. (Ruokavirasto) Suunniteltaessa pajun viljelyä entisellä turvetuotantoalueella on erityisesti huomioitava maa-alueen tukikelpoisuus, sillä EU:n maatalouspolitiikan sääntelyn mukaan vuoden 2022 jälkeen käyttöön otetuilla turvepeltolohkoilla ainoastaan pysyville nurmelle on mahdollista saada maataloustukea. (Valtioneuvoston asetus 1384/2022)

6.2 Lajikkeet

Pajujen lajikirjo on laaja, sillä maailmassa on arviolta noin 450 eri pajulajia, joista valtaosa keskittyy pohjoiselle pallonpuoliskolle. Pajuille on tyypillistä risteytyä keskenään, mikä voi tehdä lajimäärityksestä hankalaa. Geneettinen muuntautumiskyky on yksi selittävä tekijä pajujen erinomaiseen sopeutumiskykyyn erilaisiin ympäristöolosuhteisiin globaalisti. Maailmalla yleisimpiä viljelykäytössä olevia pajulajeja on muun muassa siperianpaju, vannepaju ja koripaju. Suomessa luonnonvaraisia pajulajeja on hieman yli kaksikymmentä. Energiaviljelykäyttöön tutkittuja suomalaisia luonnonvaraisia pajulajeja ovat muun muassa mustuvapaju, jokipaju, kiiltopaju, raita ja viitahalava.

Pajun viljelyssä lajikkeiden ja kloonien valinta on keskeinen osa kannattavuutta ja viljelyvarmuutta. Pajun jalostamisen tavoitteena on parantaa viljeltävän pajun haluttuja ominaisuuksia pajun käyttötarkoituksen ja viljelyolosuhteiden mukaan. Viljelypajua valittaessa tärkeimpiä ominaisuuksia ovat ruosteen- ja talvenkestävyys. Viljelyalueen olosuhteilla on keskeinen merkitys lajikevalintaan, sillä esimerkiksi Pohjois-Euroopan ilmastossa talvenkestävyys korostuu, kun taas etelämpänä tuotanto voi painottua nopeammin kasvaviin lajikkeisiin. Suomessa ja muualla Euroopassa on käytetty lajeja kuten koripaju, vannepaju ja siperianpaju, sekä niistä jalostettuja lajikkeita. (Suutari, 2020) Jalostusklooneissa pyritään yhdistämään ominaisuuksia, kuten nopea kasvu, korkea biomassantuotto, hyvä juurtuminen, taudinkestävyys ja pajun käyttötarkoitukseen vaikuttavat ominaisuudet, kuten kuoren korkeampi tanniinipitoisuus tai hyvä punottavuus. Jos tavoitteena on uutejalosteiden tuotanto, lajikkeen kemiallinen profiili (esimerkiksi tanniinien ja salisiinien määrä) on tärkeä. Näin lajikevalinnalla voidaan vaikuttaa niin materiaali- kuin kemianteollisuuden raaka-ainetarpeisiin.

Vegetatiivinen lisäys, eli pistokkaista tai juurivesoista lisääminen, on yleinen tapa saada tasalaatuista jalostusainesta. Katkaistua pajun runkoa sanotaan pistokkaaksi ja pajun pistokkaalla on kyky juurtua ja muodostaa uusi kasvava paju. Pajupistokkaasta syntynyt uusi pajupuu on geneettisesti identtinen emokasvin kanssa ja tätä kutsutaan kloonaukseksi. Paju lisääntyy luonnossa pääasiassa siemenestä ja on hyönteispölytteinen sekä kaksikotinen kasvi eli pajuyksilöt ovat joko hede- (uros) tai emikasveja (naaras). Kun pajusta käytetään termiä hedeklooni, on kyseessä urospuolisen pajun pistokas. Puhuttaessa lajista, tarkoitetaan luonnonvaraisena esiintyvää pajua, jonka jalostuminen on tapahtunut luonnonvalinnan seurauksena. Lajikkeella taas tarkoitetaan ihmisen jalostamaa pajua, jonka ominaisuudet ihminen on saanut aikaan valikoimalla emokasveja ja risteyttämällä pajuja keskenään.

Keskeistä viljelyn onnistumiselle on oikean lajikkeen valitseminen. Suomessa aikaisemmat kasvukokeet ovat osoittaneet, että eteläiset lajikkeet eivät pärjää esimerkiksi Pohjanmaan korkeudella ja pohjoisempiin olosuhteisiin tarvitaan erilaisia, talveä kestäviä lajikkeita. (Kallio-Kursi, 2022) 1970-luvun suomalaiset jalostuskokeet etsivät lajikkeita nopeakasvuisten energiapajujen jalostamiselle ja kokeiden seurauksena klooneja otettiin mm. raidasta, tuhkapajusta, mustuvapajusta, viitahalavasta, jokipajusta ja kiiltopajusta.

Raita (*Salix caprea*) on kotimaisista pajulajeista suurin ja kasvaa suureksi 6–14 metrin mittaiseksi puuksi. Raidan kasvunopeus on kotimaisista lajeista suurin. Raidan laajamittaisen viljelykäytön esteenä on kuitenkin pistokkaiden heikko juurtuvuus ja raidan alttius ruostetaudeille. Raidalla on varsin kehittynyt hienojuuristo, jonka avulla raita pystyy keräämään maasta raskasmetalleja. Juuristonsa ansiosta raitaa voidaan hyödyntää saastuneiden maiden puhdistuksessa ja eroosion ehkäisyssä. Raita sietää heikosti pitkään kestäviä märkiä olosuhteita ja suosii kalkkipitoista maata. Mustuvapajua (*S. myrsinifolia*) pidetään kotimaisten lajikkeiden potentiaalisimpana biomassakasvatukseen. Se kasvaa 1–6 m mittaiseksi pensaaksi ja vesoo voimakkaasti. Mustuvapaju sietää hyvin märkää eikä ole kovin tarkka maan pH-pitoisuudelle. Mustuvapajun kuoren arvoainepitoisuudet ovat korkeat, mikä tekee siitä kiinnostavan raaka-aineen biojalosteille. Nimensä mukaan jokipaju (*S. triandra*) esiintyy avoimilla

jokirannoilla. Sillä on hyvä juurtumiskyky ja se sietää hyvin tulvaa. Jokipaju esiintyy yleisesti Pohjois-Suomen suurien jokien varrella. Suomen yleisin pajulaji on kiiltopaju (*S. phlyicifolia*). Se kasvaa pensasmaiseksi, korkeudeltaan 0,5–3 metriseksi. Jalostuskäytössä kiiltopajun haluttuna ominaisuutena on sen erinomainen sopeutumiskyky erilaisiin olosuhteisiin ja sietokyky maaperän erilaisille pH-pitoisuuksille. Viitahalava (*S. Pentandra*) kasvaa 2–14 metrin korkuiseksi puumaiseksi pensaaksi. Luonnossa viitahalava kasvaa kosteilla ja runsasravinteisilla paikoilla ja sillä ei ole erityisiä kasvupaikkavaatimuksia maan happamuuden suhteen.

Suomalaisten pajunviljelykokeiden mukaan pajuaineisto jakautuu neljään erilaiseen tyyppiin:

- 1) Nopeakasvuiset etelän lajikkeet, korkea biomassatuotos, mutta heikko talvenkestävyys (kori- ja vannepajuklooneja)
- 2) Kotimaiset kloonit (mustuva- ja vannepaju): heikko tuottavuus, mutta hyvä talven- ja tautienkesto
- 3) Ruotsin pajunalostusohjelman kaupalliset kloonit (vähän käytännön tuloksia)
- 4) Metlan pajuohjelman (80-luku) kloonit.

Siperianpaju (*S. schwerinii*) on hyvin tehokkaasti kasvava biomassan tuotantoon jalostettu laji, joka on lähtöisin Venäjältä Koillis-Siperiasta. Se on sopeutunut mantereiseen ilmastoon ja sietää hyvin pakkasta sekä pajun ruostetauteja sekä tuholaisia. Siperianpaju on nopeakasvuinen ja vesoo voimakkaasti. Siperianpaju kasvattaa pitkiä suoria ylöspäin kasvavia oksia, mikä on erityisen edullista sadonkorjuun kannalta. Siperianpajua käytetään kantalajina pajunalostuksessa edellä mainittujen hyvien ominaisuuksiensa takia. Koripajua (*S. viminalis*) käytetään nimensä mukaisesti korien sekä muiden punontatuotteiden raaka-aineena. Se kasvaa 2–6 metriseksi pensaaksi. Viljelyhistoria Euroopassa on pitkä ja jalostettu laji on levinnyt ympäri Eurooppaa ja Venäjää. Kasvatuskokeet ja kokemukset viljelystä ovat osoittaneet koripajun olevan yksi tuottoisimmista biomassan kasvattajista. Koripaju on tärkeä jalostuslaji uusien lajien jalostuksessa ja Ruotsin pajunalostusohjelma perustuu keskeisesti koripajuun. Vannepaju (*S. dasyclados*) on nopeakasvuinen pajulaji, joka on alun perin koripajun ja tuhkapajun risteymä. Vannepaju kasvaa 3–6 metriä korkeaksi leveäksi pensaaksi. Se on tärkeä energia- ja punontapaju, mutta sen haasteena on alttius pajuruosteelle. Vannepajusta on edelleen jalostettu vesipaju (hedeklooni), joka sietää hyvin märkiä olosuhteita, mutta sen lamoava kasvutapa haittaa koneellista korjausta.

Ruotsissa pajututkimus on ollut valtiollisen pajunalostusohjelman ansiosta Euroopan huippuluokkaa 1970-luvulta lähtien ja Ruotsin pajunalostustoiminta on tuottanut monia viljelyyn otettuja lajikkeita, jotka ovat yhä edelleen viljelyksessä. Valtaosa Suomessa kaupallisesti saatavilla olevista ja viljelyksessä olevista pajuista on peräisin Ruotsin pajunalostusohjelman jalostuksesta. Tuotettuja lajikkeita ovat muun muassa Klara, Karin, Tordis, Tora ja Gudrun. Monet näistä ovat siperianpajun ja koripajun risteytyksistä jalostettuja lajikkeita, jotka ovat viljelykelpoisia Ruotsin ja Suomen oloissa talvenkestonsa ansiosta.

Pajulajikkeissa ei ole olemassa virallisia Suomessa jalostettuja pajulajeja, vaan Suomessa tehty pajututkimus on keskittynyt joko kotimaisten luonnonvaraisten lajien tutkimukseen tai ulkomailta tuotujen jalostettujen lajikkeiden tutkimiseen ja testaamiseen. On kuitenkin olemassa epävirallinen suomalainen pajulajike *Salix Ransa*, joka on nimetty Metsäntutkimuslaitoksen edesmenneen ylijohtajan, professori Olavi ”Ransa” Huikarin mukaan (Kuva 3). Toinen epävirallinen kotimainen pajulaji on Jysky, joka syntyi Metlan jalostusohjelmassa 80-luvun lopussa, kun monistusvaiheessa Suomesta kerätyt 60 parasta mustuva- ja kiiltopajun kloonit menivät sekaisin.



Kuva 3 Hedeklooni Salix Ransa. Vasemmalla kantovesat vuoden takaisen sadonkorjuun jälkeen. Oikealla useamman vuoden vanhoja kasvustoja. Kuvat Veli Pohjonen 2024.

Pajunjalostusta on harjoitettu Ruotsissa kaupallisesti jo vuodesta 1987 lähtien. Pajututkimuksen aloitti tuolloin Upsalan yliopisto ja työtä jatkoi Svalöf-Weibull (SW), joka myöhemmin fuusioitui osaksi Lanmännen Ab:ta. Lanmännen Ab vastaa Ruotsissa tutkimuksesta ja jalostamisesta ja tähän asti Salix Energi Europa (SEE) on vastannut pistokastuotannosta, myynnistä ja jakelusta. Vuonna 2024 Salix Energi lopetti toimintansa eläköitymisen myötä ja lajikeoikeudet siirtyivät tanskalaiselle NyVraalle ApS:lle, joka on tunnettu tanskalainen pajuyritys sekä pajun viljelijänä, että jalostajana. (Lanmännen Ab, 2024) Toinen ruotsalainen pajunjalostaja on 2011 perustettu European Willow Breeding (EWB). Suomessa Carbons Finland on Salix Energy AB:n lajikkeiden lisenssinhaltija (nyk. NyVraa) ja sillä on lisäysoikeus lajikkeille. Näitä lajikkeita ovat Tora, Erik, Sven, Torhild, Tordis, Inger, Wilhelm (menestyy Etelä-Suomessa) sekä Gudrun, Klara, Karin ja Winter, Doris (menestyy myös Keski-Suomessa). Nämä lajikkeet ovat kaupallisia, Plant Breeders Rights -suojattuja lisenssimaksullisia lajikkeita Plant Breeder Rights -suojaus tarkoittaa, että suojattua pajulajiketta ei saa lisätä omaan käyttöön tai kaupalliseen tarkoitukseen ilman lisenssioikeutta. Kasvilajien sääntelyjärjestelmää hallinnoi kansainvälinen järjestö International Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV), mutta lajikesuojauksen hallinnointi on ulkoistettu CPVO:lle eli Community Plant Variety Office, joka myöntää lajikeoikeudet EU-alueella. CPVO myös ylläpitää EU Plant Variety Register (PVR) nimistä lajikerekisteriä, josta näkee suojatut lajikkeet. PVR-rekisteriin on rekisteröity yli 50 pajun lajiketta/kloonina EU-alueella. On olemassa epävirallinen listaus kaikista maailman pajulajeista ja kloonista: Checklist for Cultivars of Salix L. (Willow). Listassa on yli 800 lajia/kloonina ja se kattaa sekä viralliset että epäviralliset lajit.

Iso-Britannia on Euroopan toiseksi merkittävin pajunjalostusmaa. Kansallinen geenipankki UK National Willow Collection perustettiin jo 1923 punontapajuja varten ja 1996 kansallinen jalostusohjelma laajeni lyhytkiertoviljelypajuihin in ruotsalaisen yhteistyön avulla. Yhteinen European Willow Breeding Partnership tuotti viljelyyn paremmin sopivia lajikkeita koko Eurooppaan. Näitä edelleen viljelyssä olevia lajikkeita ovat muun muassa Nimrod, Resolution, Discovery, Endeavour, Beagle, Terra Nova. Yhteistyön loputtua Rothamsted Research -instituutti jatkoi pajunjalostusta Britanniassa vuonna 2022.

6.3 Pellon valmistelu

Perustettaessa pajuviiljelmää on syytä tehdä huolellinen lähtötilanearvio, jotta edellytykset onnistuneeseen viljelyyn ovat kunnossa. Tilanearviossa on syytä analysoida viljeltävän pellon maalaji, ravinnetilanne, pH, vesitalouden tilanne. Näiden pohjalta voidaan suunnitella maanparannuksen ja vesitalouden hallinnan toimenpiteet.

Onnistuakseen, pajun viljelyssä on oltava kunnossa neljä tekijää; paikallisiin olosuhteisiin sopiva lajike, vesitalous, maan pH-taso ja lannoitus. Paju tarvitsee maaperän, joka on ilmava ja jolla on hyvä vedenpidätyskyky. Tällaisia ovat hieta ja hiesumaat, savimaat sekä multamaat ja ohutturpeiset maat. Paju menestyy heikosti hiekkamailla, sillä maaperä on liian vettä läpäisevää ja olosuhteet ovat näin ollen kuivat. Myös tiivis savimaa on huono huonon ilmavuuden ja heikon vedenläpäisyn vuoksi, jolloin juuristo kärsii hapenpuutteesta. Paksukerroksiset turvemaat ovat myös pajulle epäedullisia happamuuden, heikon kantavuuden ja liiallisen kosteuden takia.

Pajulle suotuista maan pH-taso on 6-7, vähintään 5,5. Maan pH-arvon nostaminen kalkituksella tai tuhalla voi olla tarpeen, jos kasvualusta on hyvin hapanta – pH:n korjaus parantaa ravinteiden saatavuutta ja juuriston toimintaa. Lannoitus on yksi valmistelun kulmakivistä: tuhkalannoitus, kierrätyslannoitteet (jätevesiliete, mädäte, karjan lanta, komposti) sekä keinolannoitus muodostavat ravinnehohjan. Ilmaston näkökulmasta lannoituksessa on suositeltavaa käyttää keinolannoituksen sijaan orgaanista kierrätyslannoitusta, sillä keinolannoitteiden valmistuksessa syntyvät päästöt mitätöivät pajuviiljelyn ilmastohyödyt. Kierrätyslannoitteiden käyttö on perusteltua myös viljelyn kannattavuuden kannalta. Kierrätyslannoitteiden käyttö yhdistää pajun viljelyn osaksi ravinnekiertoa ja kiertotaloutta. Lannoituksen optimointi vaikuttaa suoraan biomassan satotasoon ja viljelyn kannattavuuteen.

Paju tarvitsee kasvaakseen paljon vettä. Menestyäkseen paju tarvitsee 600–900 mm sadannan vuodessa. Suomessa vuotuinen sademäärä vaihtelee 500–650 mm välillä. Kuten tien varsilta on havaittavissa, paju viihtyy ojien lähetyillä, joista vettä on saatavilla. Paju selviää kyllä hengissä jatkuvassa kosteudessa, mutta liika märkyys ei sovellu taloudelliseen tuottoon tähtäävään viljelyyn, sillä liika jatkuva kosteus haittaa pajun kasvua, jättäen sen kitukasvuiseksi. Tarvittavan vuosituotoksen saamiseksi viljelyolosuhteiden on vastattava viljan viljelyn vaatimuksia. Toisin sanoen liikavesi on ohjattava pois viljelyksiltä ojituksella ja pelto on oltava tasainen liikaveden pois ohjautumisen varmistamiseksi. Ennen pajuviiljelmän perustamista on syytä tehdä perusojien ja laskuojien kunnostus. Pajun juuristo voi aiheuttaa ongelmia salaojituksen kanssa, sillä pajun juuret hakeutuvat kohti vettä ja juuret tukkivat salaojan. Pajurivien väliset ajourat on sijoitettava salaojien kohdalle, jolloin minimoidaan juurien päätyminen salaojiin ja hyödynnetään hyötypinta-alasta pois oleva ajoura paremmin.

Pajun viljelyn onnistuminen alkaa huolellisesta alustavasta maankunnostuksesta. Kasvupaikan valinnassa on huomioitava maaperän ravinteet, vesitalous, pH-taso sekä maa-alueen aiempi käyttö – erityisesti vanhat turvesuot vaativat toimenpiteitä vedenhallintaan ja maanparannukseen liittyen. Muokkaus varmistaa, että olosuhteet juurtumiselle ja kasvulle ovat mahdollisimman hyvät. Turvesuolla pintaturpeen ja kivennäismaan sekoittaminen kyntämällä on syytä tehdä kasvuolosuhteiden parantamiseksi, mikäli turvekerroksen paksuus sen mahdollistaa. Turvesoilla maan painuminen voi aiheuttaa ongelmia pellon kantavuuden ja viljelyn onnistumisen kannalta, sillä maaperän tulee olla ilmava. Istuttamista edeltävänä syksynä maaperä käännetään kyntämällä, jonka jälkeen maa äestetään tasaiseksi, jolloin maa ehtii tasaantua talven aikana ja istuttamaan päästään heti keväällä.

Maaperän kääntäminen on tärkeä toimenpide rikkakasvien torjumisen kannalta ja kyntämistä on suositeltavaa pitää ensisijaisena rikantorjuntatoimenpiteenä kemikaalien käytön minimoimiseksi.

Usein käytetään yhdistelmämenetelmää, joka koostuu syyskynnöstä ja kemiallisesta rikkakasvien torjunnasta ennen istutusta. Käytettäessä torjunta-aineena glyfosaattia, ruiskutuksen ja istutuksen välissä on oltava vähintään kymmenen päivän varoaika. Käytettävä glyfosaatin määrä on 4-8 l/ha. Rikkakasvien tehokas hävittäminen ennen istutusta on tärkeää, sillä paju on kaksi ensimmäistä kasvuvuottaan hyvin herkkä ravinnekilpailulle ja varjostukselle, eikä kemiallinen torjunta ole mahdollista kasvukauden aikana.

6.4 Pajun istuttaminen

Pajun viljely perustetaan lähes poikkeuksetta pistokkaista, ei taimista. Pistokkaat kerätään talvella leikkaamalla ne noin vuoden ikäisistä kantovesoista. Vuotta aiemmin tehty kasvuston alasleikkuu saa kannot vesomaan, jolloin pistokkaita saadaan enemmän ja vesat olisivat pitkiä, yksihaaraisia ja oikean paksuisia pistokasmateriaaliksi. Haluttu pistokkaan paksuus on 1–2 cm. Pistokasmateriaali kerätään 2–3 metrin pituisina runkoina ja pätkiminen tapahtuu vasta ennen istutusta joka istutuskoneen toimesta tai käsin. Istutusmateriaalina käytetään 20–40 cm pituisia, hyväkuntoisia ja lajikepuhtaita versopistokkaita, jotka on varastoitu viileässä (n. -4 asteen lämpötilassa) kosteassa kuivumisen estämiseksi. Istutusmateriaalin laatu on viljelyn onnistumisen kannalta kriittinen tekijä, sillä heikkolaatuiset tai kuivuneet pistokkaat juurtuvat huonosti ja lisäävät täydennysistutusten tarvetta.

Istutus tehdään yleensä keväällä heti maan sulamisen jälkeen (huhtikuu), kun pelto kantaa kalustoa ja maassa on riittävästi kosteutta. Kevätistutus on varmin ajankohta, koska pistokkaat ehtivät juurtua ennen kesän kuivimpia jaksoja. Istutus ajoitetaan siten, ettei pistokkaita altisteta kuivumiselle tai halloille. Sysistutusta voidaan tehdä poikkeustapauksissa, mutta siihen liittyy suurempi talvihuojen ja heikon juurtumisen riski.

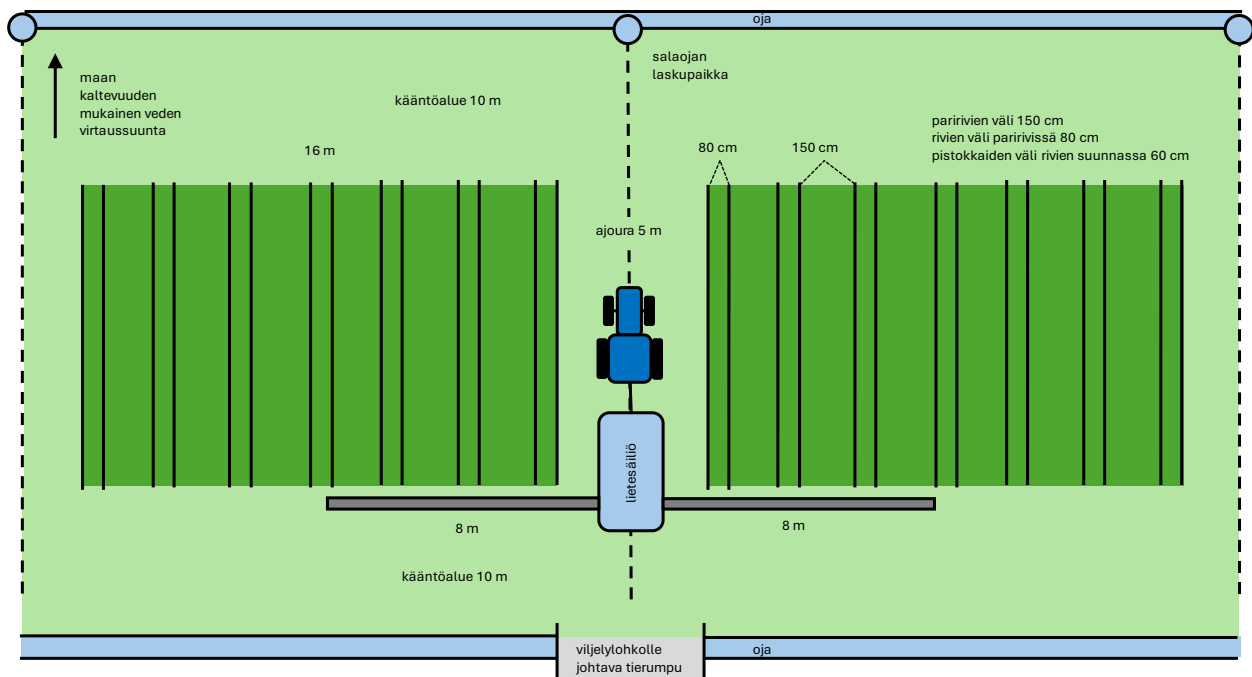
Pistokkaita liotetaan vedessä kaksi vuorokautta ennen istutusta. Pistokkaat istutetaan pystyasentoon siten, että niiden yläpää jää 2–5 cm maanpinnan yläpuolelle. Hyvä maakontakti on välttämätön juurtumisen kannalta, eikä pistokkaita tule jättää liian pintaan, mutta ei myöskään painaa kokonaan maan pinnan alapuolelle. Pienillä aloilla istutus voidaan tehdä käsin, mutta ammattimaisessa viljelyssä käytetään traktoriin kytkettäviä istutuskoneita, joiden istutustehokkuus on tyypillisesti 0,5 ha/h (Suutari, 2020, s. 9). Koneellinen istutus parantaa työn tasalaatuisuutta ja vähentää työvoimakustannuksia. Kuvassa 4 esitetään koneellinen istutus traktorin perään asennettavalla istutuskoneella. Paju voidaan istuttaa myös harsoon tai muovitettuun penkkiin, minkä tarkoituksena on tukahduttaa rikkakasveja ja antaa pajulle kilpailuetua rikkakasveihin nähden.



Kuva 4 Pajun koneellinen istutus tanskalaisella istutuskoneella. (Suutari, 2017)

Istutuksessa tulee ottaa huomioon muun muassa salaojitukset, koneellisen korjauksen ja kasvuston hoitotoimenpiteiden mahdollistaminen ja järjestyttäminen. Istutustiheys on strateginen valinta, joka

vaikuttaa kasvuston rakenteeseen, sadon laatuun ja korjuukustannuksiin. Yleinen suositus on 10 000–20 000 pistokasta hehtaarille, mutta käytännön kokemusten mukaan pidemmillä viljelykiertoilla ja jalostuskäyttöä varten tiheys lähellä 5 000–8 000 pistokasta hehtaarilla voi olla toimivampi. Harvempi istutus vähentää itsevarjostusta, kasvattaa runkopaksuutta ja parantaa korjuukaluston soveltuvuutta, kun taas tiheä istutus tuottaa ohuempaa biomassaa ja soveltuu erityisesti energiakäyttöön. Pajut istutetaan paririveihin. Kun istutetaan 10 000–20 000 pistokkaan hehtaariheydellä, yleisenä suosituksena on, että pistokkaiden etäisyys paririvin poikittaissuunnassa on 75–80 cm ja paririvin suuntaisesti 60–65 cm. Paririvien etäisyys toisistaan on 150 cm. Viljelylohkon väleihin on jätettävä istuttamattomia kohtia rivien väleihin viljelykaluston ajouria varten. Ajoura on leveydeltään n. 5 metriä ja ajourien tiheyteen vaikuttaa viljelykaluston dimensiot sekä salaojien sijainti. Pajua ei suositella istutettavaksi salaojan läheisyyteen, joten viljelystä pois olevan hukkapinta-alan minimoimiseksi ajourat on suositeltavaa sijoittaa salaojien kohdalle. Salaojien laskuaukkojen kohdalle on hyvä jättää 10–12 metrin pajuvapaa alue. Istuttamisessa on syytä huomioida myös viljelykaluston kääntäminen päisteissä, eli rivien päihin tulee jättää 8–10 metrin kääntöalueet. Pajuviljelmän päisteeseen viljelykaluastoa varten jätettävä kääntöalue toimii samalla myös salaojan laskuaukon suojavyöhykkeenä. Suojavyöhykkeen tarkoitus on pitää riittävä etäisyys kasvustoon, jotta juuret eivät tunkeudu salaojakanavaan. Kuva 5 havainnollistaa tilannetta. Paju tunkeutuu salaojakanavaan erityisesti silloin, kun se kärsii veden ja ravinteiden puutteesta, joten oikein mitoitettu lannoitus pienentää riskiä.



Kuva 5 Havainnollistava kuva pajuviljelmän toteutuksesta.

Istutuksen jälkeen ensimmäiset viikot ovat kriittisiä. Rikkakasvien torjunta on välttämätöntä, jotta pistokkaat eivät joudu kilpailuun valosta, vedestä ja ravinteista. Kuivina keväinä voidaan tarvita kastelua, ja kasvuston kehittymistä seurataan täydennysistutusten varalta. Huolellisesti toteutettu istutus luo perustan koko viljelykierron onnistumiselle ja vähentää myöhempien hoitotoimenpiteiden tarvetta. Istutuksen jälkeen kasvuston varhainen hoito määrittää pitkälti viljelmän menestyksen ja sadonkehityksen.

6.5 Pajuviljelmän hoitotoimenpiteet

Pajun kasvuun lähdön jälkeen pajuviljelmän hoitotoimenpiteet ovat enimmäkseen sadonkorjuuta ja sen jälkeistä lannoitusta sekä rikkakasvien mekaanista torjuntaa. Lisäksi kasvukauden aikana tulee edelleen huomioida ympäristö-, kustannus- ja työvoimavaatimukset: kasvuston seuranta, mahdollisten tautien tai tuholaisten torjunta, koneelliset toimet kuten korjuun ja kuljetuksen suunnittelu. Näiden hoitotoimien onnistuminen on oleellinen osa viljelyn kannattavuutta. Seuraavissa alaluvuissa käsitellään tarkemmin pajuviljelmän lannoitusta, rikkakasvien torjuntaa ja muita kasvunaikaisia hoitotoimenpiteitä.

6.5.1 Pajuviljelmän lannoitus

Pajun ravinnetarpeet ja lannoituksen periaatteet

Pajun intensiivinen lyhytkiertoviljely vaatii melko voimakasta ja suunnitelmallista lannoitusta (Pohjonen, 1980). Paju tarvitsee kasvaakseen runsaasti typpeä (N), fosforia (P) ja kaliumia (K). Kasvupaikan tavoite-pH on 5,5–7,5, joten happamalla mailla kalkitus tai emäksisten lannoitteiden (tuhka) käyttö on tarpeen.

Luonnonvarakeskuksen Pajut biokiertoaloudessa -tutkimusraportin mukaan hyvin kasvava pajukasvusto käyttää vuodessa typpeä 40–180 kg/ha, fosforia 6–34 kg/ha ja kaliumia 40–72 kg/ha. Ravinnetarpeisiin vaikuttavat muun muassa pajulajike, kasvupaikka ja kasvuolosuhteet. (Aro, 2022)

Käytännön työteknisistä syistä pajun lyhytkiertoviljelmän lannoitus tehdään kasvuston ollessa matalaa. Tämä tarkoittaa lannoitusta viljelmän perustamisvuonna tai sitä seuraavana vuonna sekä jatkossa aina korjuukierron alussa. Carbons Finland Oy (2020) suosittelee lannoituksen toteuttamista jo istutusta edeltävänä vuonna sekä tarvittaessa vielä pajun lähdeyttä hyvään kasvuun.

Lannoituksen ajoituksen suunnittelussa tulee huomioida, että typen tarve kasvaa pajukasvuston kehittyessä, ja pajut hyötyvät erityisesti keväisin toteutetusta typpilannoituksesta. Em. syistä lannoitus suositellaankin tehtäväksi keväällä kasvukauden alussa kasvuston alasleikkauksen jälkeen. Mikäli kasvuston korkeus ja pellon kantavuus sallivat, voidaan lannoitusta täydentää ennen juhannusta.

Lannoituksessa voidaan käyttää sekä kaupallisia että kierrätyspohjaisia lannoitteita. Kierrätyslannoitteiden, kuten tuhkan ja orgaanisten lannoitteiden yhdistelmien, käyttö on osoittautunut toimivaksi ratkaisuksi erityisesti entisillä turvesuonpohjilla ja tukee ravinteiden kiertoa sekä pajun kestävä tuotantoa (Paappanen ym. 2012). Lannoituksen suunnittelussa on kuitenkin aina huomioitava kasvupaikan erityispiirteet, maaperän ravinnetila sekä ympäristönsuojelulliset näkökohdat ja reunaehdot.

Lainsäädäntö ja ympäristörajoitteet

Pajuviljelmän lannoitusta suunniteltaessa tulee ravinnetarpeiden lisäksi ottaa huomioon typen ja fosforin käyttöä koskeva lainsäädäntö, joka tähtää vesistökuormituksen minimointiin. Nitraattiasetus (Vna 1250/2014) säätelee typen enimmäislannoitusmääriä ja fosforiasetus (Vna 64/2023) fosforin enimmäismääriä. Asetuksia sovelletaan maa- ja puutarhatalouteen, eli niiden mukaan on toimittava, kun pajuja viljellään maatalousmaalla tai maataloustukien piirissä.

Nitraattiasetuksen mukaan liukoisen typen enimmäismäärä on viljelykasvista riippuen enintään 250 kg/ha/vuosi (nurmi). Pajua ei ole asetuksessa erikseen mainittu, mutta mikäli se luokitellaan muihin peltokasveihin, saa sille antaa liukoista typpeä kivennäismailla enintään 160 kg/ha/vuosi ja eloperäisillä

mailla 120 kg/ha/vuosi. Tuotantoeläinten lannan ja orgaanisten lannoitevalmisteiden mukana levitettävän kokonaistypen määrä saa olla enintään 170 kg/ha/vuosi. (Suomen säädöskokoelma, 2014)

Fosforiasetuksen (Vna 64/2023) mukaisesti fosforilannoituksen enimmäismäärä riippuu pellon viljavuusluokasta ja viljelykasvista. Mikäli paju luokitellaan muuksi viljelykasviksi, fosforia saa antaa enintään 30 kg/ha/vuosi fosforin viljavuusluokassa huono. Fosforilannoituksen enimmäismäärät voidaan laskea viiden vuoden keskiarvona, jolloin fosforia voidaan pajuvielmillä antaa kerralla enemmän kuin yhden vuoden enimmäismäärä, kunhan viiden vuoden keskimääräinen fosforilannoitus alittaa asetuksessa säädetyt rajat. (Suomen säädöskokoelma, 2023)

Lannoitussuositukset peltomailla

Useimpien lähteiden mukaan hyvälle peltomaalle perustettavan pajuvielmän vuotuinen typpilannoitustarve on noin 45–120 kg N/ha. Käytännössä lannoitus joudutaan kuitenkin usein toteuttamaan kerralla korjuukierron alussa, jolloin suositellut kertamäärät voivat olla jopa 170–200 kg N/ha (Tahvanainen 1995; Carbons Finland Oy, 2020). Näissä tilanteissa lannoitus tulee tarvittaessa jakaa useammalle vuodelle nitraattiasetuksen rajoitusten ja ravinnehuuhtoumariskin hallitsemiseksi.

Fosforin ja kaliumin osalta suositukset perustuvat maan ravinnepitoisuuksiin. Keskiravinteisella peltomaalla peruslannoituksena suositellaan noin 30–46 kg P/ha ja 80–100 kg K/ha ennen istutusta tai korjuukierron alussa (Tahvanainen 1995; Danfors ym. 1997). Useiden lähteiden mukaan hyvällä peltomaalla lannoitusta ei välttämättä tarvita viljelyn perustamisvuonna, sillä pajun ravinnetarve on alkuvaiheessa vähäinen. (Tahvanainen, 1995)

Lannoitussuositukset entisillä turvetuotantoalueilla

Entisille turvetuotantoalueille perustettavilla pajuvielmillä lannoituksessa korostuvat maaperän happamuuden säätely sekä fosforin ja kaliumin riittävä saatavuus. Turvemaata voi toimia merkittävänä typpivarastona, mikäli turvekerroksen paksuus on vähintään noin 15–30 cm (Paappanen ym. 2012).

Useiden lähteiden mukaan tuhkalannoitus on viljelypajun tuotannon perusedellytys käytöstä poistuneilla turvesuonpohjilla (Carbons Finland Oy, 2020). Puupohjainen voimalaitostuhka tai turvetuhka sisältää runsaasti fosforia ja kaliumia ja on emäksistä, jolloin se nostaa tehokkaasti maaperän pH:ta. Tuhkan neutralointikyvystä ja lähtötilanteen pH-tasosta riippuen erillistä kalkitusta ei välttämättä tarvita.

Luonnonvarakeskuksen kokoaman tutkimustiedon mukaan perustamisvaiheessa voidaan kuitenkin käyttää sekä kalkkia että puutuhkaa, jotka sekoitetaan pintamaahan muokkauksen yhteydessä. Kalkituksen ja puutuhkan yhdistelmä on perusteltua erityisesti kohteissa, joissa maaperän pH on hyvin alhainen tai käytettävän tuhkan neutralointikyky on rajallinen.

Perustamisvaiheessa pajukasvustolle voidaan tarvittaessa antaa maltillinen typpilannoitus (noin 50 kg N/ha). Ensimmäisen korjuukierron aikana fosfori- ja kaliumlannoitusta ei yleensä tarvita, sillä perustamisvaiheen tuhkalannoitus kattaa pajun P- ja K-tarpeen. (Aro, 2022)

Perustamisvaiheen jälkeen lannoituksen painopiste siirtyy typen täydentämiseen sekä fosforin ja kaliumin riittävyden seurantaan maaperän ravinnepitoisuudet sekä ympäristönsuojelulliset näkökohdat huomioiden. Tuhkalannoitus voidaan toistaa muutaman vuoden välein ja typpilannoitus korjuukiertojen alkuvaiheessa. Typpilannoituksen perussuositus on 100 kg N/ha/v. (Carbons Finland Oy, 2020).

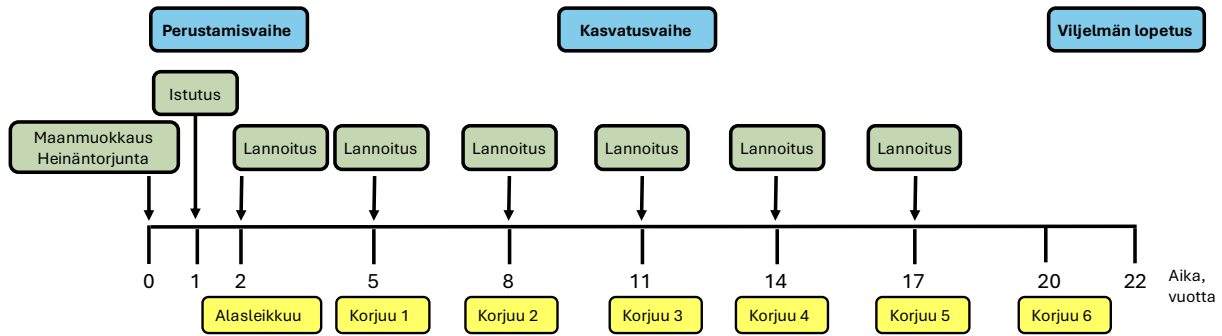
6.5.2 Muut hoitotoimenpiteet

Rikkakasvien torjunta on istutuksen jälkeen kriittinen toimenpide, sillä kilpailu rikkakasvien kanssa heikentää juurtuvien pistokkaiden kehitystä ja voi pahimmillaan tukahduttaa pistokkaat. Istutuksen jälkeisinä vuosina rikkakasvien torjunta on siis erityisen tärkeää, koska pajukasvusto kilpailee valosta ja ravinteista nopeasti kehittyvän vihreän kasvuston kanssa. Kun paju on päässyt juurtumaan hyvin, se pystyy kilpailemaan muita kasveja vastaan ja alkaa itse varjostaa rikkakasveja. Vahva ja terve pajukasvusto varmistaa biomassan tuotannon jatkuvuuden. Pajun kasvun aikana rikkakasveja on mahdollista torjua ainoastaan mekaanisesti, sillä paju on hyvin herkkä glyfosaatti-torjunta-aineelle. Kyseeseen tulee siis mekaaninen torjunta trimmerillä tms.

Pajuruoste on pajulla esiintyvä *Melampsora*-sukuun kuuluvan sienen aiheuttama tauti, joka leviää ilmateitse itiöiden välityksellä. Ruostesieniä on kymmeniä eri lajeja ja ne ovat melko yleisiä. Lehtikuusi toimii ruostesienen väli-isäntänä, joten lehtikuuset lähellä viljelmää kasvattavat ruosteriskiä. Tauti ilmenee pajun lehdistä ruosteen näköisenä värimuutoksena ja yleensä tartunnan saanut paju pudottaa lehtensä ennen aikaisesti. Vahvakasvuiset yksilöt toipuvat yleensä taudista ja lähtevät kasvuun seuraavana vuonna, mutta nuoret yksilöt vaurioituvat yleensä taudista pysyvästi ja paleltuvat herkästi talvella. Joka tapauksessa ruostetauti heikentää pajun kasvua pysyvästi ja altistaa heikentyneen pajun muille taudeille. Pajuruoste heikentää pajun kykyä yhteyttää, mikä on alentaa pajun kasvukykyä ja näin ollen biomassan tuotantoa. Pajun ruostesientä vastaan ei ole olemassa toimivaa kemikaalia. Ruostetta on pyrittävä ehkäisemään lajikevalinnalla, monikloonisuudella ja -lajikkeisuudella sekä säännöllisellä kasvuston korjuulla. Myös kasvuston hyvä kasvukunto ehkäisee ruostetta ja monia muita tauteja. Monikloonisuus – ja lajikkeisuus pienentää tautien riskiä, sillä eri lajit ja klooniyksilöt jakavat riskiä. Esimerkiksi Irlannissa pajuruoste on suuri haaste viljelyksillä, sillä ruostetauti menestyy Irlannin kosteassa ilmastossa ja irlantilainen tutkimuslaitos Agri-Food and Biosciences Institute suosittelee kuuden erilaisen pajulajin istuttamista sekaisin samalle viljelykselle paikallisissa olosuhteissa. Siperianpajua on risteytetty monen kaupallisen pajulajikkeen sukupuuhun, sillä siperianpajulla on erityisen hyvät kesto-ominaisuudet pajuruostetta, erilaisia hyönteistuholaisia ja pakkasta vastaan.

6.6 Sadonkorjuu

Pajun sadonkorjuu perustuu monivuotiseen viljelykiertoon, jossa kasvusto korjataan korjuustrategian mukaan tyypillisesti 3–4 tai 6–7 vuoden välein. Molemmista viljelystrategioista on omat etunsa ja haasteensa ja niiden merkitystä on syytä arvioida huolellisesti omaa viljelystrategiaa valitessa. Lyhyempi 3–4 vuoden kierto tuottaa ohuempaa ja helpommin korjattavaa biomassaa ja mahdollistaa tiheämmän tulovirran, mutta suhteelliset korjuukustannukset ovat korkeammat, koska biomassaa kertyy vähemmän korjuukertaa kohden. Pidempi 6–7 vuoden kierto tuottaa paksumpia runkoja ja suuremman kokonaisbiomassamäärän per korjuu, mikä parantaa kustannustehokkuutta ja laskee yksikkökustannusta kuutiometriä kohti. Pidemmällä kiertoajalla pajukasvusto pääsee järeytymään, mikä asettaa korkeampia vaatimuksia korjuukaluston tehokkuudelle. Pajun harsomaiset juuret pysyvät noin puolen metrin syvyydessä vain, jos kasvusto korjataan alle viiden vuoden välein. Pitkä kiertoaika siis nostaa riskiä salaojien tukkeutumiselle. Kuva 6 esittää esimerkinomaisesti pajuviljelmän elinkaaren vaiheet kolmen vuoden sadonkorjuukierrolla.



Kuva 6 Havainnollistava kuva pajuviiljelmän elinkaaresta ja viljelytoimenpiteistä (mukaillen Viherä-Aarnio ym., 2022, s. 19).

Kierron pituuteen vaikuttaa myös lajike, istutustiheys, kasvupaikan olosuhteet ja sijainti sekä ennen kaikkea lopputuotteen käyttötarkoitus. Pidemmällä kiertoaajalla on todennäköisempää, että ravinteet loppuvat kesken, koska lisälannoitusta ei käytännön syistä ole mahdollista antaa sadonkorjuuiden välissä. Syinä on kaluston aiheuttamat vauriot kasvustolle ja myöhempi kasvuston läpituokemattomuus, joka estää kasvustossa ajamisen. Ravinteiden riittämättömyyden takia voidaan joutua noudattamaan lyhyemmän sadonkorjuuvälin viljelystrategiaa.

Korjuun ajankohta vuoden sisällä vaikuttaa merkittävästi biomassan laatuun ja viljelyksen kasvukuntoon. Sadonkorjuu tehdään lehdettömänä aikana syksyn ja kevättalven välillä, kun maaperä kantaa korjuukaluston. Sydäntalvella (tammi-helmikuu) tapahtuva talvikorjuu on yleisin käytäntö, koska lehdet ovat pudonneet, biomassan kosteuspitoisuus on alhaisimmillaan ja pellon kantavuus on parempi. Talvikorjuu parantaa myös varastoitavuutta ja vähentää homehtumisriskiä. Biomassan kosteus korjuuhetkellä tyypillisesti 50–60 %. Haluttu kosteusprosentti polttoa varten on noin 35–40 %. Kesäkorjuu on mahdollista, mutta siihen liittyy korkeampi kosteuspitoisuus, suurempi maavaurioiden riski ja heikompi varastointikestävyys, minkä vuoksi sitä käytetään lähinnä erityistapauksissa. Kesäkorjuuseen liittyy myös suurempi riski kasvien terveyden kannalta, sillä täydessä kasvussa olevan pajukon korjuu altistaa kasvuston taudeille ja tuholaisille.

Korjuumenetelmä ja kalusto valitaan ensisijaisesti halutun tuotemuodon perusteella. Energiakäyttöön tarkoitettussa viljelyssä yleisiä ovat suora haketus pellolla ajosilppurilla tai traktoriin kytkettävällä korjuulaitteella sekä pajun puimiseen muokatuilla puimureilla. Pidemmällä viljelykierrolla ja jalostuskäyttöä varten paju voidaan korjata kokonaisina runkoina giljotiinikouralla, jotka niputetaan ja kuljetetaan jatkojalostukseen tai jätetään lohkon läheisyyteen kuivumaan. Suuremmilla tiloilla ja pidemmällä kierroilla voidaan käyttää myös erikoiskorjuukoneita tai metsäkalustoa. Kaluston valinta riippuu paitsi korjattavan pajun pituudesta ja paksuudesta, myös siitä, tuotetaanko hake, rangat vai jatkojalostukseen soveltuva raakabiomassa. Pajuviljelyksen ollessa vain hehtaareita tai muutamia kymmeniä hehtaareita, on kustannussyistä suositeltavaa hyödyntää käyttäen traktoriin kytkettävää kalustoa. Pajuviljelysten ollessa keskitettyjä yli sadan tai useiden satojen hehtaarien viljelmiä, erikoiskaluston hankinta tulee ajankohtaiseksi.

Kuvan 7 tilanteessa on käytössä energiapuupöydällä varustettu ajosilppuri, joka kaataa, hakettaa ja kuljettaa kasvuston ajon aikanasuoraan vieressä ajavan traktorin peräkärriin. Tällaisen ajosilppurimenetelmän sadonkorjuuteho on 0,3–1,5 ha tunnissa tai 17–35 tuoretonnia tunnissa. Suora haketusmenetelmä sopii lyhyen kiertoaajan viljelystrategiaan, jolloin vesojen läpimitta on 3–7 cm ja korkeus yli 5 metriä. Kokopuuna korjuu sopii paksummalle kasvustolle, yli 8 cm paksuisille vesoilille. Kokopuuna korjuu tapahtuu esimerkiksi metsäkoneilla tai giljotiinikouralla varustetulla traktorilla tai kaivinkoneella. Korjuumenetelmä on hitain, noin 0,1–0,9 ha/h. Paju voidaan korjata myös paalaamalla.

Pyöröpaalaimesta jatkokehitetty kone kaataa, murskaa ja paalaa pajun ajon aikana. Menetelmä sopii ohuille, alle 5 cm läpimitaltaan oleville vesoille. Paalaimen työteho on noin 0,5 ha/h.



Kuva 7 Pajun korjuu suoraan energiahakkeeksi polttolaitokselle. (Knaapi, 2024, s. 36)

Korjuun jälkeen biomassaa voidaan käyttää useissa tuotemuodoissa. Energiakäyttöön paju hyödynnetään hakkeena, kun taas jalostukseen menevä paju voidaan toimittaa kokonaisina rankoina, kuorimattomana biomassana tai erikseen kuorittuna raaka-aineena. Biomassaa voidaan käyttää myös pyrolyysi- ja biohiilikäyttöön. Tuotemuoto vaikuttaa suoraan korjuumenetelmään, logistiikkaan ja varastointiratkaisuihin.

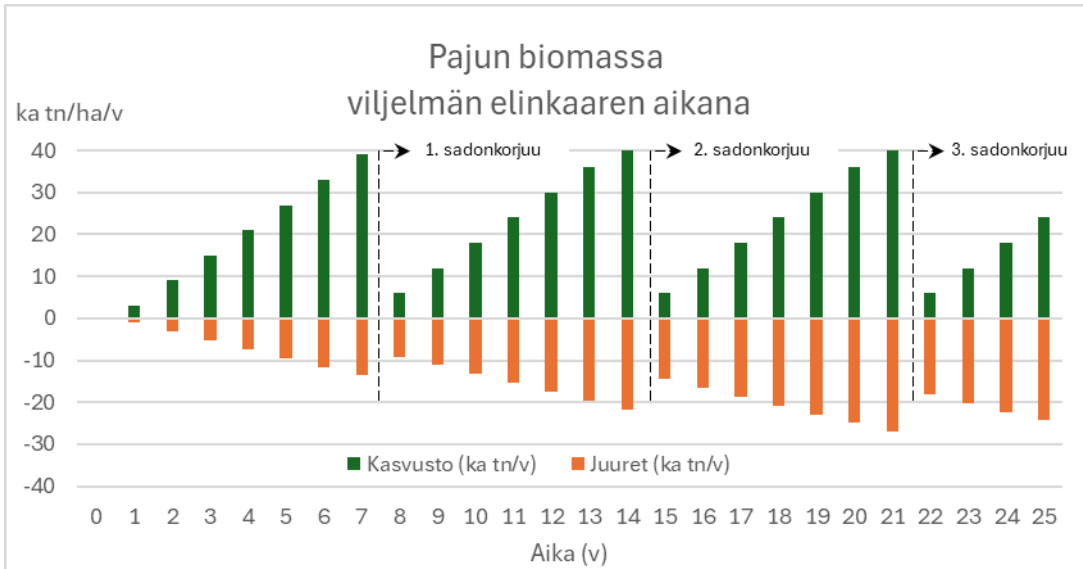
Logistiikka ja varastointi ovat keskeinen osa sadonkorjuun kokonaisuutta. Biomassaa välivarastoidaan usein pellon reunassa ennen jatkokuljetusta. Varastoinnissa on huolehdittava riittävästä tuuletuksesta ja suojauksesta, jotta hakkeen lämpeneminen ja homehtuminen vältetään. Kuljetusmatka ja varastointiaika vaikuttavat suoraan biomassan energiasisältöön ja taloudelliseen kannattavuuteen, minkä vuoksi logistiikka on suunniteltava osaksi viljelyjärjestelmää jo perustamisvaiheessa.

Sadonkorjuuseen liittyy useita käytännön haasteita. Pellon kantavuus ja sääolosuhteet voivat rajoittaa korjuuajankohtaa, ja epätasainen kasvusto tai kiviset lohkot vaikeuttavat koneellista korjuuta. Kaluston saatavuus ja korkeat korjuukustannukset pienillä aloilla heikentävät viljelyn taloudellista kannattavuutta. Lisäksi markkinariskit, kuten hakkeen hinnan vaihtelu ja kysynnän ajoitus, vaikuttavat siihen, milloin ja millä hinnalla sato voidaan realisoida. Huolellisesti suunniteltu korjuustrategia on siten keskeinen osa pajun viljelyn kokonaistaloutta.

Realistisesti tavoiteltava pajuviiljelmän vuosikasvu viljapeltoa vastaavissa olosuhteissa on 6–8 kuiva-ainetonnina vuodessa per hehtaari. Suopohjien kasvatuskokeissa pajun biomassatuotos (lehdetön, maanpäällinen kasvusto) on ollut parhaimmillaan 4–7 tonnia/ha vuodessa. Suotuisissa kasvuolosuhteissa pajun maanpäällinen vuosikasvu voi olla 9–12, jopa 15 ka tn/ha/v. Maanalaisen biomassatuotoksen eli juurien osuus on 32–39 prosenttia maanpäällisestä lehdettömästä tuotoksesta, mikä on tavoiteltavaan vuosikasvuun suhteutettuna on noin 2–3 ka tn/ha/v. Yhteensä paju kasvattaa siis kuivaa biomassaa 8–11 tn/ha yhden vuoden aikana. Paju kasvaa vuodessa 2–4 metriä pituutta ja 3–4 vuoden iässä pajulla on pituutta viidestä kahdeksaan metriä. Pidemmällä kiertoajalla (6–7 v.) pajun pituus ylittää kymmenen metriä.

Kuvassa 8 havainnollistetaan kuvitteellisen pajukasvuston kuiva-ainetuotosta viljelmän elinkaaren aikana. Kuvassa esitettävä viljelmiä korjataan seitsemän vuoden kierrolla. Sadonkorjuun yhteydessä noin kolmasosa juuristosta kuolee ja kuollut juuristo muuttuu maaperän orgaaniseksi hiileksi. Maanpäällinen biomassan kasvu esitetään nolla-akselin yläpuolella ja maanalainen biomassan kasvu esitetään akselin alapuolella. Maanpäällinen kasvusto kasvaa keskimäärin 6 tn/ha vuodessa ja juuristo

kasvaa 2 tn/ha, yhteensä 8 tn/ha/v. Elinkaarensa aikana kyseinen esimerkkikasvusto kasvattaa biomassaa yhteensä noin 190 kuiva-ainetonnia: 145 tonnia kasvustoa ja 45 tonnia juurien biomassaa. On huomioitava, että kasvusto korjataan pois sadonkorjuun yhteydessä ja tilalle kasvaa uutta biomassaa, kun taas juuristo pysyy enimmäkseen samana, poikkeuksena sadonkorjuun takia kuoleva juuristo.



Kuva 8 Pajun biomassa viljelmän elinkaaren aikana. Luvut suuntaa antavia. Juuristosta kuolee noin 1/3 sadonkorjuun takia.

Hiilen osuus on noin 50 % kuiva-aineesta ja hiilidioksidin määrä on hiili kerrottuna 3,67:llä, joka tulee suoraan hiilidioksidin ja hiilen molekyylipainojen suhteesta ($44/12 = 3,67$). Esimerkin maanpäällinen kasvusto sitoo siis hiilidioksidia vuodessa 15 tn/ha: 11 kasvustoon ja 4 juuristoon. Elinkaarensa aikana pajuviljelmä sitoo hiilidioksidia kasvustoon 270 tn/ha ja juuristoon 78 tn/ha eli kaiken kaikkiaan yhteensä 350 tn/ha.

6.7 Pajunviljelyn päättäminen lohkolla

Pajunviljelmän päättäminen lohkolla on suunniteltu prosessi, joka alkaa viljelykierron päättymisen tunnistamisesta. Päätöksen ajankohta riippuu muun muassa sadon määrästä, lajikkeen ominaisuuksista, markkinatilanteesta ja lohkon tulevasta käyttötarkoituksesta. Viljely voidaan päättää joko täydellisen kierron jälkeen tai aiemmin, jos kasvusto ei tuota toivottua biomassaa tai jos lohko halutaan muuhun käyttöön.

Kasvun pysäyttäminen on keskeinen toimenpide. Yleisin käytäntö on kemiallinen käsittely glyfosaattivalmisteilla loppukesällä tai syksyllä, jolloin estetään voimakas vesominen seuraavana keväänä ja helpotetaan pellon muokkausta. Glyfosaatin käytön rajoitukset on huomioitava vesistöjen ja pohjavesialueiden läheisyydessä. Vaihtoehtoisesti voidaan käyttää mekaanisia menetelmiä, kuten jyräintä, murskausta tai toistuvaa niittoa, mutta ne ovat usein vähemmän tehokkaita yksinään ja vaativat useamman vuoden käsittelykierron juuriston pysäyttämiseksi.

Juuriston ja kantojen käsittely on olennainen osa lopettamista, sillä pajun juuristo on laaja ja sitkeä. Syvämuokkaus, kantomurskaus ja jyräintä vähentävät vesomista ja mahdollistavat lohkon siirtymisen muihin käyttötarkoituksiin. Täydellinen juuriston poistaminen on harvoin taloudellisesti järkevää, mutta riittävä taso varmistaa seuraavan viljelykasvin onnistumisen.

Kun kasvusto on pysäytetty, maa muokataan uudelleen viljelykuntoon. Tämä sisältää kyntöä, äestystä ja pellon tasausta, jolloin epätasaisuudet ja juurijätteet poistetaan ja lohko on kylvökelpoinen

seuraaville kasveille. Paju parantaa maan rakennetta ja lisää orgaanisen aineksen määrää, mutta vaatii silti huolellisen muokkauksen ennen uutta viljelyä.

Lohkon tuleva käyttötarkoitus voi vaihdella: viljakäyttö, nurmi, uusi pajuviilelmä, metsitys tai kosteikko/vesiensuojelu. Päätöksen yhteydessä on tärkeää huomioida mahdolliset ympäristösäädökset, kuten glyfosaatin käyttöön liittyvät rajoitukset pohjavesialueilla, Natura-alueiden ehdot ja turvemaiden erityisvaatimukset. Lisäksi viljelyn lopettaminen aiheuttaa kustannuksia ja lohko ei ole välittömästi täysin viljelykelpoinen; seuraavan kasvin satotaso voi alkuvaiheessa jäädä alhaiseksi.

Haasteet päättämässä liittyvät erityisesti voimakkaaseen vesomiseen, kustannuksiin, ympäristörajoitteisiin ja pellon palautumisaikaan. Huolellisesti suunniteltu lopettaminen on keskeistä, jotta lohkon käyttö voidaan jatkaa tehokkaasti ja taloudellisesti kestävästi.

6.8 Pajun viljelyyn liittyvät riskit

Pajun viljely tarjoaa monia hyötyjä, kuten biomassan tuoton, ravinteiden kierrätyksen, eroosion vähentämisen ja hiilen sitomisen, mutta siihen liittyy myös merkittäviä riskejä ja haasteita, jotka on syytä tunnistaa viljelyä suunniteltaessa. Viljelyriskit voivat vaikuttaa suoraan sadon määrään ja laatuun sekä taloudelliseen kannattavuuteen. Yksi keskeinen viljelyriski on istutuksen epäonnistuminen, joka voi johtua huonosta juurtumisesta, kilpailusta rikkakasvien kanssa tai sopimattomasta kasvupaikasta. Tuholaisvahingot, kuten myyrät, jänikset, hirvieläimet ja hyönteiset, voivat alentaa biomassantuottoa merkittävästi, ja niiden torjunta vaatii sekä ennaltaehkäiseviä että tarvittaessa jälkitoimia. Tautiriski, kuten pajuruoste, voi heikentää kasvustoa ja pahimmillaan tappaa pajukasvuston.

Sää- ja vesiriskit ovat erityisen merkittäviä Pohjoismaissa. Tulvat, kuivuusjaksot ja äärimmäiset sääilmiöt voivat hidastaa juurtumista, aiheuttaa sadonmenetyksiä tai vaikeuttaa korjuuta. Vesiriskin hallinta edellyttää hyvää vesitalouden suunnittelua, kuten ojitusta, kosteikkoväyliä tai tulvasuojauksia, jotta pahimmilta vahingoilta vältytään. Kuvassa 9 on esimerkki pajun kitukasvuisuudesta vanhalla turvesuolla, jossa paju on kärsinyt liiasta kosteudesta.



Kuva 9 Pajun kasvatuskoe vanhalla turvesuolla Teuvan Plumpunnevalla, 11.9.2025. Nelivuotias kasvusto on hyvin kitukasvuista.

Pajun viljelyyn liittyy myös taloudellisia riskejä, kuten markkinariski ja tuotantopanosten hintojen vaihtelu. Biomarkkinoiden epävarmuus, jalostusketjun puute tai kysynnän heilahtelut voivat vaikuttaa investointien kannattavuuteen. Lisäksi sääntelyriski on merkittävä: esimerkiksi tukijärjestelmien muutokset, ympäristölainsäädännön tiukentuminen tai glyfosaatin käytön rajoitukset voivat vaikuttaa viljelyn taloudelliseen ennustettavuuteen.

Erityinen käytännön haaste liittyy ravinteiden loppumiseen kierron aikana. Pajukasvusto kasvaa nopeasti ja kuluttaa merkittävästi ravinteita. Tiheä ja korkea kasvusto muodostaa läpitunkemattoman esteen koneiden liikkumiselle, joten lisälannoitus on usein mahdollista vasta sadonkorjuun jälkeen, jolloin kasvusto on leikattu. Pidemmällä viljelykierrolla on todennäköistä, että sadonkorjuun jälkeen levitetyt lannoitteet eivät riitä seuraavan korjuun ajankohtaan saakka, jolloin pajukasvusto alkaa kärsiä ravinteiden puutteesta ja kasvu tyrehtyy. Kuva 10 havainnollistaa ravinteiden loppumista kasvuvaiheen aikana. Huonosti voivan kasvuston resilienssi on heikompi eli mm. poikkeavien sääolosuhteiden ja tautien sieto on heikompi.



Kuva 10 Alkava ravinnepuute alkaa näkyä lehtien vihreän värin vaalenemisella (ylempi oksa). Kuva Reino Mantsisen viljelmä, Pälkäneellä elokuussa 2025.

Kaikkien riskien hallinta ja ennakointi ovat olennaisia onnistuneen viljelysuunnitelman kannalta. Tämä tarkoittaa muun muassa huolellista lajike- ja istutustiheyden valintaa, riittävää torjunta- ja vesitaloussuunnittelua sekä taloudellista riskien arviointia ja markkinaseurantaa. Esimerkiksi ruostetauteihin ei ole olemassa toimivaa kasvinsuojeluainetta, vaan torjunnan on perustuttava

ennaltaehkäisyyn valitsemalla ruosteenkestäviä lajikkeita, hajauttamalla riskiä useammalla lajikkeella ja pitämällä kasvuston kasvukunnosta mahdollisimman hyvää huolta. Näin voidaan vähentää riskejä ja varmistaa viljelyn kannattavuus pitkällä aikavälillä.

Lähteet

- Ahonen, L., & Ahonen, L. (2014). *Energiapajun viljeleminen, Energiapajun kestävä tuotanto ja käyttö*. Pohjoisen Keski-Suomen oppimiskeskus (POKE).
https://peda.net/poke/projektit/luva_hankkeet/energiapaju/evjptk/evjptk2:file/download/ff67056fa6663ff8761f0de938e25d669cf28c16/Energiapajun%20viljeleminen%20ja%20Tarvaalan%20koeviljelm%C3%A4t%202014%20LA.pdf
- Aro, L., Jylhä, P., Järvenranta, K., Matila, A., Ramstadius, U., Ronkainen, T., Räsänen, A., Silvan, N., Silvenius, F., & Virkajärvi, P. (2023). Turvetuotannosta poistuvien alueiden jatkokäytön vaihtoehdot Suomessa sekä arvio niiden ympäristö- ja talousvaikutuksista. Luonnonvarakeskus.
- Aro, Lasse. 2022. Kasvupaikan valinta, viljelmän perustaminen ja hoito. Julkaisussa: Viherä-Aarnio, A., Jyske, T. & Beuker, E. (toim.). Pajut biokiertoaloudessa: Materiaaleja, arvoaineita, ympäristöhyötyjä. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 11/2022. Luonnonvara-keskus. Helsinki. s. 10–13.
- Danfors, B., Ledin, S. & Rosenqvist, H. 1997: Energiskogsodling, Handledning för odlare. –Swedish Institute of Agricultural Engineering. Saatavilla: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:959971/FULLTEXT01.pdf>
- Dawson, M. (2010). Short rotation coppice willow: Best practice guidelines (B. Caslin, J. Finnan, & A. R. McCracken, Toim.). Crops Research Centre, Teagasc ; AFBI.
- Kallio-Kursi, H. (2022, kesäkuuta 19). Energiakriisi laittoi pelin uusiksi—Tuttu maisemanpilaaja voi nousta tuottoisaksi hiilensitojaksi turvekentillä. Maaseudun Tulevaisuus.
<https://www.maaseuduntulevaisuus.fi/metsa/4dc58221-2c39-487b-8cf4-09f27febcdc2>
- Knaapi, J. (2024). Energiaa ja hightech-tuotteita. Koneviesti.
- Paappanen, T., Leinonen, A., Villa, A., Kaipainen, E. & Reinikainen, O. (2012). Pajuviljelmän perustaminen. Energiapajun kestävä tuotanto ja käyttö projekti. Tutkimusraportti.
- Pohjonen, V. (2015). *Biomassaa pajuista—Yhteenveto 100 vuoden laji- ja lajikevalinnasta*.
- Pohjonen, V. 1981. Polttoturpeen jälkeen energiapajua - Polttoturvesoiden jälkihoitoa tutkitaan. Tiedotustilaisuus Rantsilan Palonevalla 17.8.1981 [Esiteelmä]: Saatavilla verkossa:
<https://velipohjonen.blogspot.com/2025/03/polttoturpeen-jalkeen-energiapajua.html>.
- Pohjonen, V. 1980. Energiapajujen viljelystä vanhoilla turvetuotantoalueilla. Summary: On the energy willow farming on the old peat industry areas. Suo 31(1): 7-9
- Ruokavirasto, Peltotuet. Haettu 14.3.2026. <https://www.ruokavirasto.fi/tuet/maatalous/peltotuet/>
- Suomen säädöskokoelma. 2014. Valtioneuvoston asetus nitraattiasetuksen mukaisesta typen lannoituksesta maataloudessa (VNa 1250/2014). Finlex. Haettu osoitteesta:
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20141250>
- Suomen säädöskokoelma. 2023. Valtioneuvoston asetus fosforia sisältävien lannoitevalmisteiden ja lannan käytöstä (VNa 64/2023). Finlex. Haettu osoitteesta:
<https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2023/20230064>

Suutari, M. (2020). Tuotekortti Pajun kasvatus 0720. Carbons Finland Oy. <https://carbons.fi/wp-content/uploads/2020/11/Tuotekortti-Pajun-kasvatus-0720.pdf>

Tahvanainen, L. (1995). Pajun viljelyn perusteet. Joensuun Yliopisto, Metsätieteellinen Tiedekunta.

Valtioneuvoston asetus (1384/2022) Euroopan unionin ja kansallisten viljelijätukien hyvän maatalouden ja ympäristön vaatimuksista. Haettu 11.2.2026.

<https://www.finlex.fi/fi/lainsaadanto/saaduskokoelma/2022/1384#OT2>

Viherä-Aarnio, A., & Jyske, T. (2022, helmikuuta 10). Pajusta pohjolan bambu? Luke kartoitti viljeltävän pajun potentiaalia. Luonnonvarakeskus. <https://www.luke.fi/fi/uutiset/pajusta-pohjolan-bambu-luke-kartoitti-viljeltavan-pajun-potentiaalia>

Viholainen, I. (2017, maaliskuuta). Pajun viljely ja salaojitus—Katsaus kirjallisuuteen. Luoko ry. <https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2022/05/Pajun-viljely-ja-salaojitus.pdf>

7 Yhteenveto

Paju (*Salix* spp.) on nopeasti kasvava ja monipuolinen puuvartinen kasvi, jolla on merkittävä potentiaali biokierrotaloudessa. Sen nopea kasvu, suuri biomassantuotanto ja kyky hyödyntää vettä sekä ravinteita tehokkaasti tekevät siitä kiinnostavan raaka-aineen niin materiaali-, energia- kuin kemianteollisuudelle. Kirjallisuusselvityksen perusteella pajun suurimmat mahdollisuudet liittyvät sen monipuolisiin jalostusketjuihin. Pajua voidaan hyödyntää perinteisissä käyttökohteissa, kuten punontatuotteissa, mutta myös uusissa sovelluksissa, kuten biokomposiiteissa, biopohjaisissa rakennusmateriaaleissa ja kemianteollisuuden raaka-aineissa. Pajun kuori sisältää bioaktiivisia yhdisteitä, kuten tanniineja ja salisiineja, joilla on käyttöä esimerkiksi nahan parkitsemisessa, luonnonmukaisissa väriaineissa, kosmetiikassa sekä lääketeollisuudessa. Lisäksi pajubiomassasta voidaan valmistaa bioenergiaa, pyrolyysiöljyä ja biohiiltä, joilla voidaan korvata fossiilisia raaka-aineita.

Pajulla on myös merkittäviä ympäristöhyötyjä. Pajuviljelmät voivat toimia hiilen sitoijina sekä maanparantajina, sillä kasvin laaja juuristo lisää maaperän orgaanisen aineksen määrää ja parantaa maan rakennetta. Pajua voidaan hyödyntää ravinnekierrätyksessä esimerkiksi jätevesilietteiden ja muiden orgaanisten sivuvirtojen käsittelyssä. Lisäksi paju soveltuu hyvin fytoimediaatioon eli saastuneiden maiden ja vesien biologiseen puhdistamiseen. Pajukasvustot lisäävät myös ympäristön monimuotisuutta tarjoamalla elinympäristöjä monille hyönteisille, linnuille ja pölyttäjille.

Suomessa pajun viljely on vielä vähäistä, mutta kansainväliset kokemukset osoittavat sen olevan teknisesti toteuttamiskelpoinen ja monipuolinen viljelymuoto. Pajun viljelyä voidaan toteuttaa erityisesti alueilla, joilla perinteinen maatalous ei ole taloudellisesti kannattavaa, kuten turvepelloilla, entisillä turvetuotantoalueilla ja viljelystä poistuneilla pelloilla ja muilla joutomailla. Näin pajun viljely voi tarjota uusia mahdollisuuksia maaseudun elinkeinoille sekä edistää kestävästä maankäytöstä.

Haasteena liiketoiminnan syntymiselle on pitkään jatkunut maatalouden kannattamattomuus ja pienentynyt taloudellinen riskinotto-kyky. Pajuviljelmän perustaminen vaatii usean tuhannen alkuinvestoinnin hehtaaria kohti sekä kasvun aikaisia panoksia, mutta lopputuotteelle ole valmista ostajaa, eikä näin ollen tuotteelle ole vakaata ennustettavaa hintaa. Pajuviljelysinvestointiin sisältyy siis tällä hetkellä merkittävä taloudellinen riski, kun samaan aikaan potentiaali on merkittävä, mutta toistaiseksi vielä vain teoriassa.

Pajun hyödyntämisen suurin potentiaali syntyy pajun arvoketjujen kehittämisestä kohti kaskadikäyttöä eli pajun kokonaisvaltaista hyödyntämistä, missä yhdistyy biomassantuotanto, korkean jalostusasteen

tuotteet ja ympäristöhyödyt. Pajun viljely ja jalostus voivat tukea kiertotaloutta, lisätä uusiutuvien raaka-aineiden käyttöä ja luoda uutta liiketoimintaa erityisesti maaseutualueille. Tulevaisuudessa pajun merkitys voi kasvaa erityisesti tilanteissa, joissa biopohjaisille materiaaleille, ravinnekierrätykselle ja hiilensidonnalle etsitään uusia ratkaisuja.