

Projektrapport

Skogarnas kolbindning och kollager samt deras utveckling i de skogsfastighets- helheter som förvaltas av församlingarna

Emmi Hiltavuori, Kyle Eyvindson, Eero Mikkola
10.2.2021

1.	Projektbeskrivning.....	3
2.	Den modellbaserade beräkningen.....	3
2.1.	Utgångsmaterial.....	3
2.2.	Bedömning av kollager och kolbindning.....	4
2.2.1.	Uppställning av mål.....	4
2.2.2.	Modellering av skogens tillväxt och hantering.....	4
2.2.3.	Beslutsmetod för skogshantering.....	4
2.2.4.	Tillväxtmodeller.....	5
2.2.5.	Jordmånens kolnivå och växthusgasutsläpp.....	5
3.	Beskrivning av materialet i projektet.....	5
3.1.	Beräknade värden.....	6
4.	Resultat.....	6
4.1.	Skogsresurser.....	6
4.2.	Kollager.....	7
4.3.	Kolsänka och utsläpp.....	8
4.4.	Övriga växthusgaser.....	9
4.5.	Biodiversitet.....	9
4.6.	Tolkning och användning av resultaten.....	10
5.	Bilagor.....	10
6.	Referenser.....	10

1. Projektbeskrivning

I enlighet med kyrkans energi- och klimatstrategi (Kolneutral kyrka 2030) har den evangelisk-lutherska kyrkan i Finland förbundet sig till att arbeta nationellt och internationellt för att stävja klimatförändringen. Till åtgärderna i strategin hör att kartlägga tillståndet i markernas kollager och deras värde som kolsänkor, i synnerhet skogar och myrar, som ägs av församlingarna, att utarbeta en plan och utfärda en rekommendation för hur församlingarnas skogar ska vårdas på ett ekologiskt, socialt, kulturellt och ekonomiskt hållbart sätt så att också deras tillstånd som kollager och värde som kolsänkor förbättras.

I detta projekt kartlade man kollagrens storlek i skogar som ägs av den evangelisk-lutherska kyrkan i Finland, samt genomförde en modellbaserad granskning av skogarnas kolsänkor. I projektet utarbetades prognoser för utvecklingen av kollager och kolsänkor under de kommande årtiondena. Prognoserna bygger på alternativ, där skogsvårdsmetoderna väljs antingen utifrån ekonomisk lönsamhet eller utifrån maximerad kolbindning.

Målet med projektet är att ta fram information som församlingarna eller de kyrkliga samfälligheterna kan utnyttja i planerna för och besluten om skogarnas vård och användning. På så sätt kan församlingarna bidra till att Kyrkans energi- och klimatstrategi kan genomföras.

Projektet genomfördes som ett samarbete mellan Naturresursinstitutet (Luke) och Kyrkostyrelsen under perioden juni 2020 till januari 2021. Kontaktperson för Kyrkostyrelsen var Harri Palo och kontaktperson för Luke var Eero Mikkola. Den modellbaserade beräkningen utfördes av forskaren Kyle Eyvindson på Luke och för rapportering ansvarade forskaren Emmi Hilasvuori.

2. Den modellbaserade beräkningen

Skogarnas kollager ansågs i detta projekt bestå av tre komponenter: kol som lagrats i trädbeståndet, i jordmånen och i dött virke. Kolsänkan eller kolkällan beräknas utifrån den förändring som sker i dessa kollager mellan olika år. Prognosmodellen för utvecklingen av kollager och kolbindning utarbetades för perioder om fem år 2021–2046 och beräkningen utfördes per skogsfigur. För att förutspå trädbeståndets utveckling användes skogssimulatoren SIMO (Rasimäki m.fl. 2009). Kolsänkan beräknades för mineraljordar utifrån modellen Yasso07 (Liski m.fl. 2005; Tuomi m.fl. 2009, Tuomi m.fl. 2011) och för torvmarker utifrån modeller av Ojanen m.fl. (2014).

2.1. Utgångsmaterial

Beräkningen av den aktuella nivån på kollagret och kolbindning baserar sig på församlingarnas fastighetsuppgifter som uppgetts av Kyrkostyrelsen i augusti–november 2020 samt tillhörande skogsresursinformation som hämtats ur tjänsten MinSkog.fi, eller i vissa församlingar på församlingarnas skogsresursinformation i XML-format.

Utifrån de fastighetsnummer som Kyrkostyrelsen uppgett hämtades fastigheternas gränser från Lantmäteriverkets öppna databas. Fastighetsgränserna användes för att hämta skogsresursinformationen i databasen MinSkog.fi. Om den skogsareal som de ekonomiska församlingsenheterna meddelat avvek märkbart från uppgifterna i databasen MinSkog.fi, ombads församlingarna lämna in skogsresursinformationen i XML-format. Materialet som samlades in på detta sätt omfattade totalt 230 ekonomiska församlingsenheter och deras 2001 fastigheter, inom vilkas område en total skogsareal på 130 860 ha inkluderades i beräkningen. Fastigheter som saknade skogsareal i Skogscentralens tjänst, och

för vilka inga uppgifter i XML-format var tillgängliga före utsatt datum, exkluderades ur uppgifterna. Många fastigheter omfattar annan markanvändning vid sidan av skog och därför kan skogsarealen avvika från den areal för skogsegendom som kyrkan rapporterat. Fastigheternas gränser stämmer inte alltid helt överens med skogsfigurernas gränser, vilket också kan ge upphov till små inexaktheter. Skogsresursinformationen fungerar som inmatningsuppgifter i modelleringen. Skogsresursinformationen i MinSkog.fi har uppdaterats gällande tillväxt till år 2021, men om avverkningar har gjorts nyligen, syns dessa inte nödvändigtvis i uppgifterna. Avverkningar minskar kolsänkan.

Väderuppgifterna som behövdes för prognoserna kommer från meteorologiska institutets databas. I modellerna som förutspår skogens tillväxt används temperatur, temperaturökning och atmosfärens koldioxidhalt och i modellerna för jordmånen används dessutom vädervariablerna värmesumma, regnmängd och årliga temperaturväxlingar. Övrigt bakgrundsmaterial som använts i beräkningen kommer från litteraturen som listas i slutet av rapporten.

2.2. Bedömning av kollager och kolbindning

2.2.1. Uppställning av mål

För att optimera skogsanvändningen sammanslogs de fastigheter som administreras av den ekonomiska församlingsenheten till en enda skogsfastighetsenhet. För denna enhet valdes utifrån en optimeringsmetod de bästa figurspecifika skogsvårdsmetoderna för varje mål:

1. Maximalt kollager (MaxKol)
2. Maximalt kollager, då skogens nettonuvärde maximeras enligt diskonteringsräntan 1,5 % (MaxNPV1,5)
3. Maximalt kollager, då skogens nettonuvärde maximeras enligt diskonteringsräntan 3 % (MaxNPV3)

2.2.2. Modellering av skogens tillväxt och hantering

Simuleringsystemet SIMO som använts för modellering av skogens utveckling omfattar flera simuleringsmodeller som beskriver naturprocesser, till exempel skogens tillväxt och trädbeståndets självgallring, samt åtgärder för skogshantering. För modellering av trädbeståndets biomassa används Repolas (2007) modeller. Biomassan består av biomassan ovan jord, det vill säga stammen, grenarna och löven, samt stubben och rötterna under jord. Kol anses utgöra 50 procent av biomassans torrsvikt i trädbeståndet. Detta kol motsvarar trädbeståndets kollager.

2.2.3. Beslutsmetod för skogshantering

Vid simuleringen av potentiella alternativ för skogshantering används Branch and Bound-metoden för beslutsfattande. Trädbeståndet odlas först och därefter bedömer man när tröskelvärde för avverkning överskrids för varje tidsperiod. Tröskelvärdena för avverkning beror på skogens läge och växtplatstypen. De simulerade alternativen för avverkning är slutavverkning, låggallring och höggallring. Efter att metoden för avverkning har valts, inklusive alternativet ingen avverkning alls, simuleras trädbeståndets tillväxt under följande tidsperiod och valet av avverkningsmetod upprepas. Simuleringen av skogsbruk ger som resultat ett antal alternativ för skogshantering som passar skogen. Eftersom lämpliga tillväxtmodeller saknas simuleras metoden för kontinuitetsskogsbruk och metoderna för periodisk skogsodling separat enligt Siitonens (1993) metod. Rotpriserna för trädbeståndet antogs vara stabila under odlingsperioden.

2.2.4. Tillväxtmodeller

I skogsodlingens inledande period tillämpas tillväxtmodellerna enligt Hynynen m.fl. (2002). Dessa modeller baserar sig på skogsmaterialet i Riksskogstaxeringen (RST), där skogshanteringsmetoderna bygger på traditionella hanteringsmetoder för bestånd med jämn åldersstruktur. Detta begränsar användningen av tillväxtmodellerna till bestånd där plockhuggning tillämpas. Om plockhuggning väljs som skogshanteringsmetod, så passar modellerna för kontinuerligt skogsbruk bättre för beskrivning av beståndets tillväxt (Pukkala m.fl. 2013).

Vid utarbetandet av prognoser måste man alltid använda sig av antaganden. I denna prognos ingår inte effekten av störande faktorer och samtidigt antar man att tillväxtförhållandena förblir på nuvarande nivå.

2.2.5. Jordmånens kollager och växthusgasutsläpp

Förändringen i jordmånens kollager beräknades separat för mineraljordar och torvmarker. För mineraljordar gjordes beräkningen enligt modellen Yasso07. Yasso-modellen beskriver förnedbrytningen som sker i jordmån och frigörelsen av koldioxid som sker till följd av nedbrytningen. Jordmånens utgångsläge bedömdes utifrån beståndets typ och plats i enlighet med Repo m.fl. (2020) och den årliga fallförnan bedömdes utifrån biomassan hos beståndet i modelleringen. Mineraljordars kolsänka påverkas av trädbeståndet och dess utvecklingskedde, skogshanteringen samt det bedömda utgångsläget. Till de främsta osäkerhetsfaktorerna i metoden hör bedömningen av utgångsläget. Kolet i jordmån cirkulerar långsammare än kolet i trädbeståndet, och dess mängd och sammansättning har utvecklats under tusentals år.

För dikade torvmarker beräknades utsläppsprognosen enligt modellerna av Ojanen m.fl. (2014), som baserar sig på gasutbytesmätningar som gjorts på olika håll i Finland. Det är svårt att fastställa kollagret i torvmarkers jordmån. Torvprofilens kollager C t/ha beror på torvlagrets tjocklek och torvens densitet. Denna information är vanligtvis inte tillgänglig i form av tillräckligt noggrant uppmätta uppgifter. Modellen förutspår torvmarkens utsläpp av CO₂, CH₄ och N₂O utifrån markens näringsnivå, och kollagrets storlek påverkar därför inte dessa uppskattningar. Av gaserna i torvmarker innehåller CO₂ och CH₄ kol, och alla är växthusgaser som beaktas i beräkningen av växthusgasnivån för dikade torvmarker. Vid resultatrapporteringen omvandlas gaserna CH₄ och N₂O till koldioxidekvivalenter, dvs. effekten omvandlas så att den motsvarar koldioxidens klimateffekt enligt koefficienterna CO₂ x 1, CH₄ x 25, N₂O x 298.

3. Beskrivning av materialet i projektet

I projektet utarbetades ett sammandrag av resultaten för hela Finland, med presentationer av kollagens utveckling i trädbeståndet och i marken. Dessutom beräknades ett sammandrag av kolbindningen och den potentiella ökningen av kolsänkan som skulle följa om alla församlingar valde att maximera kolbindningen i sina egna skogsvårdsplaner. För varje ekonomisk församlingsenhet presenteras dess nuvarande kollager i skogsarealen, samt kolsänkan och kolsänkans ökningspotential i förhållande till jämförelsenivån. Som jämförelsenivå användes MaxNPV-scenarier. Dessutom presenteras resultaten av optimeringen i form av skogsvårdsmetoder och avverkningsmängder för olika optimeringsscenarier.

I en mer detaljerad granskning delas de ekonomiska församlingsenheterna in i kategorier enligt läget för eller arealen hos deras skogsegendom.

3.1. Beräknade värden

Trädbeståndets kollager (t C/ha) – Mängden kol per hektar som är bunden i trädbeståndets totala biomassa, dvs. stammen, grenarna, löven, stubben och rötterna.

Trädbeståndets kollager (t CO_{2ek}/ha) – Mängden kol per hektar som är bunden i trädbeståndets totala biomassa, omvandlad till koldioxidekvivalenter.

Kolsänka (t CO_{2ek}/ha/år) – Mängden koldioxid som skogen binder årligen per hektar.

Ökning av kolsänkan (t CO_{2ek}/ha/år) – Kolsänka per hektar som uppnås genom skogsvårdsåtgärder, i förhållande till jämförelsenivån.

Ökning av kolsänkan (t CO_{2ek}/år) – Total kolsänka för hela skogsarealen som uppnås genom skogsvårdsåtgärder, i förhållande till jämförelsenivån.

Växthusgasnivå (t CO_{2ek}/år) – Nivå för gaserna CO₂, N₂O och CH₄, omvandlad till koldioxidekvivalenter. Här anges ett utsläpp med positivt värde och kolsänkan med negativt värde.

4. Resultat

4.1. Skogsresurser

Skogsresurserna som ägs av den evangelisk-lutherska kyrkan i Finland finns på olika håll i Finland, enligt kartan (Bild 1). Trädvolymen uppgår till totalt 17 010 tusen m³ och genomsnittsvolymen till 130 m³/ha. Torvmarkens andel av arealen är 25 procent. Andelen olika trädslag i beståndet och åldersstrukturen illustreras i Bild 1.

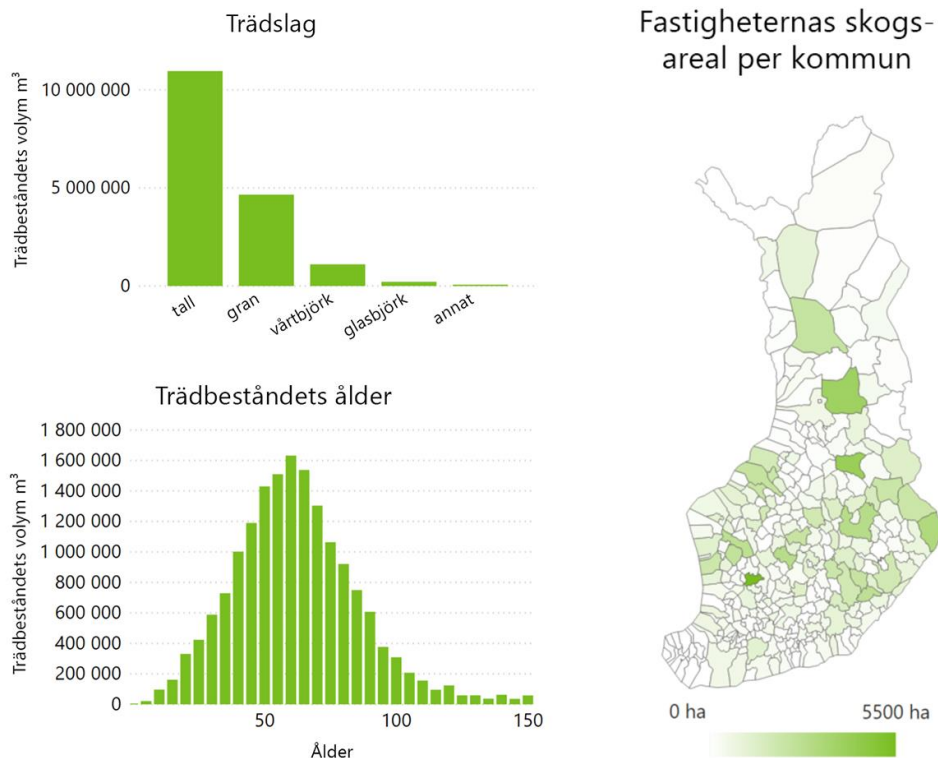


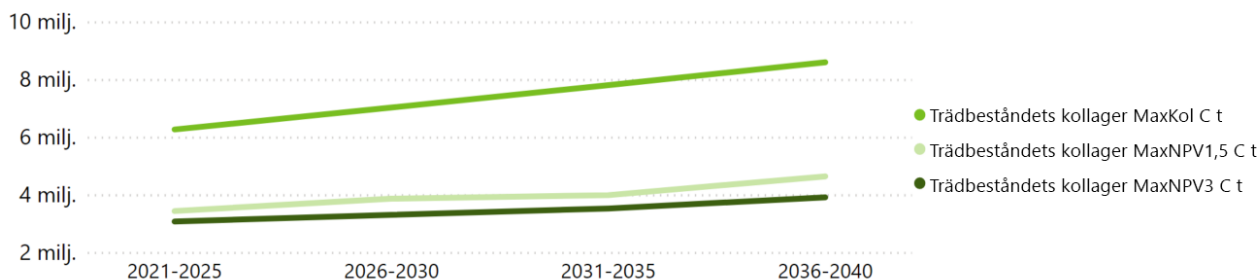
Bild 1.

4.2. Kollager

Trädbeståndets nuvarande kollager uppgår till ungefär 6 009 360 ton kol, dvs. 46 ton per hektar. I scenariot MaxKol ökar kollagren under hela den kommande 20-årsperioden. I scenariot som maximerar nettonuvärdet (MaxNPV) genomförs flera avverkningar under den första planeringsperioden och därför minskar trädbeståndets kollager. Efter detta börjar de gradvis öka igen.

Kollagret i marken minskar i alla scenarier (Bild 2). I scenariot MaxNPV är kollagret i marken aningen större än i scenariot MaxKol till följd av den kol som avverkningsresterna tillför marken, men börjar därefter minska betydligt snabbare än i scenariot MaxKol. Det minskande kollagret i alla scenarier förklaras med att kollagret vanligtvis minskar i dikade torvmarker eftersom det organiska materialet som samlats i torv börjar sönderfalla när det torkar. I mineraljordar är marken vanligtvis en nettokolsänka.

Träbeståndets kollager



Jordmånens kollager

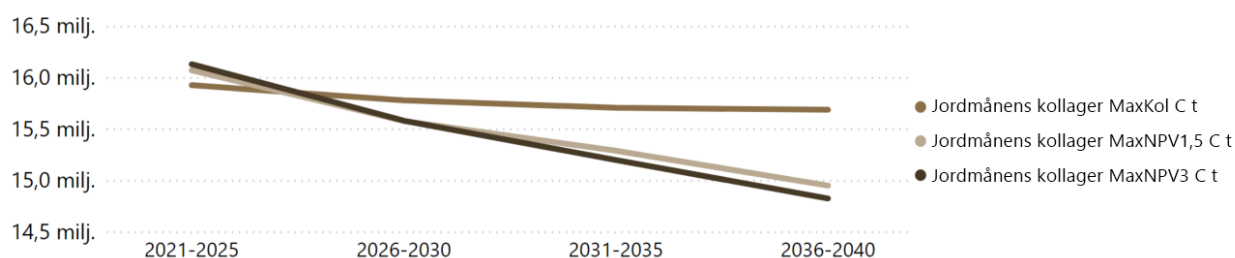


Bild 2.

4.3. Kolsänka och utsläpp

Ett växande kollager kallas för kolsänka. Skogen, inklusive jordmånen, växer, dvs. binder enligt MaxKol-scenariot 4,13 t CO_{2 ek}/ha kol per år. I MaxNPV1.5%-scenariot är skogen nästan i balans, då kolsänkan motsvarar 0,3 t CO_{2 ek}/ha per år. I scenariot MaxNPV3% utgör skogen en liten utsläppskälla för kol: där uppgår utsläppen till 0,9 t CO_{2 ek}/ha per år. Bild 3 illustrerar den genomsnittliga kolsänkan per kommun enligt MaxKol-scenariot. Bilden visar att skogarna i södra Finland binder kol snabbare. De regionala skillnaderna återspeglar också förekomsten av torvmark.

I tabell 1 presenteras avverkningsmängderna i olika scenarier. Avverkningarna i MaxKol-scenariot är mycket små jämfört med MaxNPV-scenarierna. (1,6 % och 1,5 %). På kort sikt kan man främja kolbindning genom att spara på kollagren och därför är avverkningarna i MaxKol-scenariot mycket små. En ökning av kolsänkan innebär att man genom skogsvårdsåtgärder uppnår en ökning av kolsänkan i förhållande till jämförelsenivån. Enligt modelleringen kan kolsänkan ökas med 3,8 t CO_{2 ek}/ha per år

Kolbindning per kommun

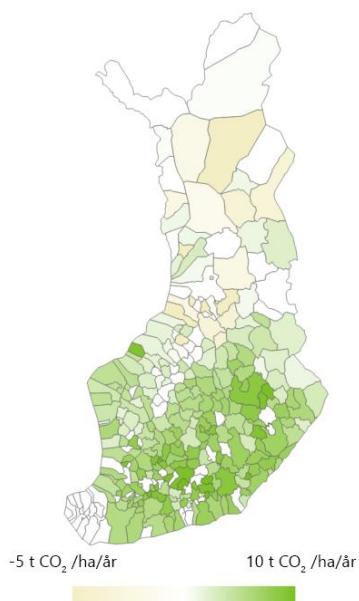


Bild 3. Kolbindning i församlingsägda skogar i olika kommuner.

Tabell 1. Avverkningsmängd i olika scenarier under de kommande 20 åren. Siffrorna anger kubikmeter (m³)

Tidsperiod	MaxKol	MaxNPV1,5	MaxNPV3
2021–2025	143 799	8 680 142	9 746 890
2026–2030	44 027	1 134 865	1 512 648
2031–2035	2 326	2 166 470	1 678 673
2036–2040	2 274	774 895	1 479 404
Total	192 426	12 756 372	14 417 614

4.4. Övriga växthusgaser

Växthusgasbalansen mellan ekosystemet och atmosfären är skillnaden mellan växthusgaserna som strömmar i två olika riktningar. I denna beräkning inkluderas också växthusgaseffekten av myrarnas NO₂- och CH₄-utsläpp. Nettoutsläppet i atmosfären anges i allmänhet med ett positivt tal och nettobindningen med ett negativt tal. Fenomenet betraktas alltså ur atmosfärens perspektiv. Växthusgasbalansen i MaxKol-scenariot är -4,08 t CO_{2ek}/ha, i MaxNPV1,5%-scenariot -0,2 t CO_{2ek}/ha och i MaxNPV3%-scenariot 1,0 t CO_{2ek}/ha.

4.5. Biodiversitet

Trots att detta projekt inte utvärderade andra mål för skogsanvändning, kan det konstateras att man i många studier (t.ex. Pohjanmies 2018) har observerat att skogshanteringsalternativ som främjar kolbindning även har en positiv effekt på många andra ekosystemtjänster och diversitetsindikatorer.

4.6. Tolkning och användning av resultaten

Som stöd för målen och besluten i kyrkans energi- och klimatstrategi presenterades bedömningar av kollager och kolbindning på församlingsenhetsnivå, samt en beskrivning av vilka skogsvårdsmetoder som behövs för att uppnå resultaten i optimeringsberäkningarna för varje skogsfastighet. Som utgångsmaterial användes de skogsarealer som anges här och som valts ut för projektet, med tillhörande skogsresursinformation. Resultaten har beräknats för denna skogsareal och kan inte generaliseras utanför detta urval.

I projektet framtog ett kalkylmässigt värde för ökning av kolsänkan, dvs. hur mycket kolsänkan kan ökas i förhållande till jämförelsenivån. Detta värde indikerar hur mycket kol den ekonomiska församlingenheten skulle kunna binda i sina skogar, till exempel för att kompensera utsläppen från verksamheten. På kort sikt betonas bevarandet av skogens kollager i en sådan här granskning. Detta innebär alltså en radikal minskning av avverkningar. På längre sikt spelar också ökad tillväxt en viktig roll i beräkningen.

Enligt kyrkans energi- och klimatstrategi genomförs kyrkans klimatneutralitet i lokalförsamlingarna specifikt för varje församlingsekonomi. Församlingarna kan ställa upp olika slags mål för skogsvården beroende på omständigheterna och skogsegendomens natur. I detta projekt beräknades resultaten för tre förhållningsdefinierade scenarier, som representerar två mål för skogsanvändning. Det är osannolikt att någotdera målet kan förverkligas som sådant. Vid tolkning av resultaten bör man beakta att de två målen inte nödvändigtvis helt utesluter varandra och att man också kan finna en medelväg, där båda målen förverkligas i någon mån (Pohjanmies m.fl. 2017). Dessutom kan församlingarna ha andra sociala, kulturella eller ekologiska mål för skogsanvändningen, vilka inte beaktats i dessa beräkningar. Resultaten från detta projekt kan dock användas för att rikta åtgärderna som ökar kollagret mot de ställen som har den största kolbindningspotentialen, samt för att i beslutsfattandet stöda värdebaserade val mellan olika mål för skogsanvändning.

5. Bilagor

- Som bilaga till denna rapport levereras beräkningens resultat i Excel-format till Kyrkostyrelsen.

6. Referenser

Eyvindson, K., Hartikainen, M., Miettinen, K., & Kangas, A. (2018). Integrating risk management tools for regional forest planning: an interactive multiobjective value at risk approach. *Canadian Journal of Forest Research*, 48 (7), 766-773.

Hynynen, J., Ojansuu, R., Hökkä, H., Siipilehto, J., Salminen, H., Haapala, P. (2002). Models for Predicting Stand Development in MELA System. (Skogsforskningsinstitutet).

Liski, J., & Westman, C. J. (1997). Carbon storage in forest soil of Finland. 2. Size and regional pattern. *Biogeochemistry*, 36(3), 261-274. <https://doi.org/10.1023/A:1005742523056>

Liski, J., Palosuo, T., Peltoniemi, M., Sievänen, R. (2005). Carbon and decomposition model Yasso for forest soils. *Ecol. Model.* 189, 168-182.

Miina J., Hotanen J., Salo K. (2009). Modelling the abundance and temporal variation in the production of bilberry (*Vaccinium myrtillus* L.) in Finnish mineral soil forests. *Silva Fennica* 43(4): 577-593. <http://dx.doi.org/10.14214/sf.181>.

Miina J., Kurttila M., Salo K. (2013). Kauppasienisadot itäsuomalaisissa kuusikoissa – koealaverkosto ja tuloksia vuosilta 2010–2012. Working Papers of the Finnish Forest Research Institute 266. [In Finnish with English summary]. <http://www.metla.fi/julkaisut/workingpapers/2013/mwp266.htm>

Mönkkönen, M., Juutinen, A., Mazziotta, A., Miettinen, K., Podkopaev, D., Reunanen, P., Salminen, H., Tikkanen, O.P. (2014). Spatially dynamic forest management to sustain biodiversity and economic returns. *J. Environ. Manag.* 134, 80-89.

Ojanen, P., Lehtonen, A., Heikkinen, J., Penttilä, T., Minkkinen, K. (2014). Soil CO₂ balance and its uncertainty in forestry-drained peatlands in Finland. *For. Ecol. Manag.* 325, 60-73.

Pohjanmies T., Eyvindson K., Trivño M., Mönkkönen M. (2017). More is more? Forest management allocation at different spatial scales to mitigate conflicts between ecosystem services *Landscape Ecol.* 32, 2337-2349. <https://doi.org/10.1007/s10980-017-0572-1>

Pohjanmies, T. (2018). Trade-offs among intensive forestry, ecosystem services and biodiversity in boreal forests. University of Jyväskylä, 53 s.

Pukkala T. (2005). Metsikön tuottoarvon ennustemallit kivennäismaan männiköille, kuusikoille ja rauduskoivikoille. *Metsätieteen Aikakauskirja* 3: 311–322.

Pukkala, T., Lähde, E., Laiho, O. (2013). Species interactions in the dynamics of even- and uneven-aged boreal forests. *J. Sustain. For.* 32 (4), 371–403.

Rasinmäki, J., Kalliovirta, J., Mäkinen, A. (2009). SIMO: an adaptable simulation framework for multiscale forest resource data. *Comput. Electron. Agric.* 66, 76-84.

Repo, A., Eyvindson, K.J., Halme, P., Mönkkönen, M. (2020). Forest bioenergy harvesting changes carbon balance and risks biodiversity in boreal forest landscapes. *Canadian Journal of Forest Research*, 50 (11), 1184-1193. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0284

Repola, J. (2008). Biomass equations for birch in Finland. *Silva Fennica* 42(4): 605-624. <https://doi.org/10.14214/sf.236>

Repola, J. (2009). Biomass equations for Scots pine and Norway spruce in Finland. *Silva Fennica* 43(4): 625-647. <https://doi.org/10.14214/sf.184>

Siitonen M. (1993). Experiences in the use of forest management planning models. *Silva Fennica* 27 (2): 167–178. <https://doi.org/10.14214/sf.a15670>

Tuomi, M., Thum, T., Järvinen, H., Fronzek, S., Berg, B., Harmon, M., Trofymow, J.A., Sevanto, S., Liski, J. (2009). Leaf litter decomposition — estimates of global variability based on Yasso07 model. *Ecol. Model.* 220, 3362-3371. 9

Tuomi, M., Laiho, R., Repo, A., Liski, J. (2011). Wood decomposition model for boreal forests. *Ecol. Model.* 222, 709-718.