UNIVERSITY OF COPENHAGEN

Københavns Universitet

Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov 2020

Sagsnotat

Johannsen, Vivian Kvist; Nord-Larsen, Thomas

Publication date:
2020

Document version
Også kaldet Forlagets PDF

Citation for published version (APA):
Johannsen, V. K., & Nord-Larsen, T., (2020). *Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov 2020: Sagsnotat*, 44 s.

Download date: 17. nov.. 2026

KØBENHAVNS UNIVERSITET
INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG NATURFORVALTNING

Naturstyrelsen og Miljø- og Fødevareministeriet
Christian Lundmark Jensen,
Mads Jensen, Bjørn Ole Ejlersen og Mogens Krog
Opdateret 2020.02.04 / 2020.04.17
Att. Pernille Karlog (MST)/Christian Lundmark Jensen (MFVM)

SAGSNOTAT

17. APRIL 2020

SKOV, NATUR OG BIOMASSE

ROLIGHEDSVEJ 23
1958 FREDERIKSBERG C

DIR 35331699
MOB 20300969

vkj@ign.ku.dk

REF: VKJ

www.ign.ku.dk

Vedr. Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov 2020

Sagsbehandler Vivian Kvist Johannsen og Thomas Nord-Larsen

Kvalitetssikring Niclas Scott Bentsen,
Lars Vesterdal, Inger Kappel Schmidt

Indhold

1. Problemstilling 2
2. Baggrund 2
3. Resume 3
3.1. Grundlag 4
3.2. Usikkerheder 5
3.3. Overblik 6
4. Sammendragstabel 10
5. Uddybende beskrivelser 13
5.1. Forkortelser og begreber 13
5.2. Datagrundlag 14
5.3. Modelgrundlag 16
5.4. Vedmasseudvikling på træbevoksede arealer 16
5.5. Vedmasseudvikling på arealer ryddet til naturlig succession 21
5.6. Puljen af dødt ved i skoven 22
5.7. Ændret håndering af vand i skovene 23
5.8. Jordbund 24
5.9. Omlægning af arealer til skovgræsning 24
5.10. Høstede produkter fra skoven og deres anvendelse 25
6. Referencer 29
7. Bilag 32

1. Problemstilling

Som opfølgning på Naturpakken er der på statens arealer udlagt 10.200 ha urørte løvskove og nåleskove helt uden træproduktion og 3.600 ha anden biodiversitetsskov med en nedsat træproduktion. Der er udpeget 45 skove og der udarbejdes i øjeblikket specifikke planer, der beskriver tiltagene på de udlagte arealer, herunder hvor meget der skal fældes og hvilken forvaltning, der fremover skal være på arealerne. Notatet gennemgår klimaeffekterne af arealernes omlægning, dvs. hvilken betydning omlægningen har for arealernes optag og udledning af drivhusgasser både på kort og langt sigt.

For definitioner af urørt skov og biodiversitetsskov henviser vi til Miljøstyrelsens fakta-ark om biodiversitetsskov https://mst.dk/media/114025/faktaark_biodiversitetsskov.pdf

Nærværende version erstatter version fra februar 2020. Der blev i marts 2020 fundet en faktorfejl vedr. metan (CH4) og gav anledning til en gennemgang af beregninger. Supplerende beregninger blev gennemført ift. hugst.

2. Baggrund

De skove, som er udpeget til urørt skov eller anden biodiversitetsskov, har været forvaltet efter statens skiftende retningslinjer gennem de sidste 200 år. Deres drift har i lange perioder været kendetegnet ved en intensiv udnyttelse af arealet. Ved omlægning til biodiversitetsformål indgår flere elementer, som ændrer forvaltningen og dermed grundlaget for optag og udledning af drivhusgasser fra skovene.

I forbindelse med den politiske beslutning om naturpakken er det fastlagt, at dele af finansieringen af udlægningen af skove til biodiversitetsformål skal ske via udtag af træprodukter, inden de overgår til urørt skov. I de skove, der udpeges til anden biodiversitetsskov, vil det fortsat være muligt med en vis, nedsat hugst af træ. Hugsten tilrettelægges, så den benyttes til at skabe variation, lysninger og skovrande i de udpegede skove. Yderligere variation sikres ved nogle steder at introducere græssende dyr og ved at nedlægge dræn eller grøfter, og dermed sikre mere vand i skovene. Græssende dyr og mere vand skaber og fastholder flere lysåbne områder i de urørte skove og forbedrer grundlaget for biodiversiteten (Naturstyrelsen 2018).

Naturstyrelsen har bedt IGN-Københavns Universitet om en vurdering af effekten på optag og udledning af drivhusgasser ved de nye udlæg af urørt skov og anden biodiversitetsskov, jf. Aftale om Naturpakken. Første version af beregningen blev afsluttet i februar 2019 baseret på samme principper som anvendt ved fastlæggelse af referenceniveauet for kulstofbinding for de danske skove, som er blevet udbygget i løbet af 2019 (Johannsen et al 2019).

Denne anden version er udbygget på en række punkter, idet der i højere grad er indarbejdet supplerende data for opbygning af vedmasse for arealet

omfattet af Naturpakken. Ud over scenarierene for omstillingen af arealerne udlagt efter Naturpakken er der endvidere indarbejdet et nyt scenarie, der ser på effekten af umiddelbart hugstophør på hele arealet omfattet af Naturpakken (se også spørgsmål fra MFVM sidst i bilag).

Notationen følger IPCC's regler, således at optag af CO_2 fra atmosfæren beskrives med negative værdier, da de repræsenterer et dræn af atmosfærens CO_2. Heraf følger også, at udledning af CO_2 samt lattergas og metan (omregnet til CO_2 ækvivalenter) beskrives med positive værdier. Dermed kan opgørelserne sammenholdes med fx drivhusgasrapporteringen under LULUCF.

3. Resume

Samlet set vil udlægning af 13.800 ha ekstra skov til urørt og anden biodiversitetsskov i henhold til Naturpakken, på langt sigt, reducere det samlede areals optag af drivhusgasser til 0-7 kt CO_2 eq pr år mod referenceberegningens fortsatte optag på ca. 90 kt CO_2 eq pr år.

I de første 10 år af omstillingsperioden har omlægningen til urørt skov ingen eller kun en mindre effekt på det samlede optag og udledning i forhold til den hidtidige forvaltning. Det skyldes især, at den mængde træ der fældes i omstillingsperioden stort set svarer til det, der fældes i skovene normalt.

Efter omstillingsperioden vil udlægning til urørt skov i en periode medføre et øget nettokulstofoptag mens vedmasseniveauet øges. Herefter vil arealets samlede klimaeffekt reduceres i forhold til, hvis de samme arealer blev drevet efter Naturstyrelsens sædvanlige naturnære skovdriftsprincipper. Dette skyldes, at der indfinder sig en ligevægt mellem kulstofoptaget i de levende træer og udledningerne af kulstof fra døde og rådnende træer. Kulstofbinding i jorden vurderes at være ubetydelig, så længe jorden er veldrænet.

Netto-optaget i skoven falder gradvist til ca. 10 % af det nuværende niveau efter 200 år, hvorefter der ved maksimal vedmasseopbygning efter et yderligere tidsrum forventes at indfinde sig en nettoligevægt i skoven, men med begrænset mulighed for anvendelse af træ til træprodukter (udelukkende fra arealer udlagt til Anden biodiversitetsskov). Stormfald, nedsat overlevelse som følge af tørke eller for høj fugtighed, samt andre faktorer vil kunne reducere vedmasseniveauet og give midlertidige udsving over tid mellem optag og udledning.

Ved et umiddelbart hugststop kommer størstedelen af kulstofoptaget i de første 50-70 år, mens en omlægning til biodiversitetsskov med strukturfremmende hugst giver et lavere optag i de første 50-70 år, og det tager længere tid før det maksimale vedmasse- og kulstofniveau nås.

Grundlag, usikkerheder og uddybning af beregningerne fremgår nedenfor.

3.1. Grundlag

Som reference for beregningerne af klimaeffekten ved udlæg af urørt skov og anden biodiversitetsskov, er der foretaget en vurdering af optag og udledninger af drivhusgasser ved en fortsat naturnær skovdrift (Business As Usual, BAU), som ellers ville være gældende på de udpegede arealer.

Vurderingen omfatter de samme fem kulstofpuljer og andre drivhusgasudledninger, som danner baggrund for Danmarks rapportering til bl.a. UNFCCC og Kyoto-protokollen:1) overjordisk og 2) underjordisk biomasse, 3) dødt ved, 4) skovbundens lag af ikke omsatte blade, nåle og grene (litter) og 5) mineraljorden. Herudover vurderes effekter af dræning og ophør af dræning på jordens udledning af metan og lattergas. Effekten på udledninger i andre sektorer (substitutionseffekt) indgår ikke direkte i beregningerne men høstens kulstofindhold opgøres.

Arealet der er analyseret udgør ca. 2 % af det samlede skovareal i Danmark og knap 3 % af skovarealet etableret før 1990. Tilsvarende udgør biomassen som omfattes af analyserne ca. 2 % af den samlede danske skovbiomasse.

3.1.1. *Data- og modelgrundlag*

- Naturstyrelsens bevoksningskort og bevoksningsregister (NST 2018)
- Modeller udviklet til den danske Forest Reference Level, rapporteret i Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030 (Johannsen et al. 2019).
- Beregningsmetoder for opgørelser af skoves klimaeffekter jf. IPCC retningslinjer (IPCC 2006, 2007, 2014).
- Opgørelsesmetoder og udvikling i dødt ved jf. Johannsen et al. (2015).
- Skovstruktur i urørt og forstligt drevet skov (Kepfer-Rojas et al. 2017).

3.1.2. *Faktorer inddraget i analysen*

- Vedmasseudvikling på træbevoksede arealer og arealer ryddet til naturlig succession.
- I den reviderede version er indregnet effekt af ændret udvikling i vedmasseniveauerne som følge af fravær af hugst.
- Effekter på puljen af dødt ved i skoven.
- Ændret omfang af vand i skovene.
- Omlægning af arealer til skovgræsning.
- Høstede produkter fra skoven (til træprodukter og energi).

De grundlæggende rammer for analysen bygger på Naturstyrelsens retningslinjer for naturnær skovdrift (Skov- og Naturstyrelsen 2005) såvel som retningslinjer for urørt skov og anden biodiversitetsskov (Naturstyrelsen 2018).

Omstillingsperioden for udlagt urørt løvskov forventes afsluttet i 2025, mens omstillingen for urørt nåleskov forventes afsluttet i 2050. Anden

biodiversitetsskov omstilles straks til en lavere hugst end i reference beregningen (BAU).

3.2. Usikkerheder

Usikkerhederne i analysen er knyttet til en række faktorer bl.a.:

1) Referenceniveauet for Naturstyrelsens naturnære skovdrift (BAU) er baseret på modeller for levetider for bevoksninger udviklet for hele skovarealet. Disse modeller angiver, hvor stor en andel af en aldersklasses areal, der forynges. Naturstyrelsen har implementeret Naturnær skovdrift løbende siden 2005, og omstillingen er stadig i gang. Der er usikkerhed om hvorvidt modellen passer ift. den faktiske udvikling, men modellen er det bedste bud med det givne grundlag.
2) Modellernes fremskrivning af skovtilstanden fra det nuværende vedmasseniveau fordelt på træarter og aldersklasser (pr 2017) er brugt som en samlet opgørelse af skovens respons på skovdriften. Dette niveau blev anvendt i fremskrivningen af udviklingen fra februar 2019. I den reviderede model er anvendt en udvikling af vedmasseniveau støttet af observerede vedmasser fra et projekt, der sammenlignede østdanske bøgedominerede natur- og kulturskove (Møller 2017, Kepfer-Rojas et al. 2017). Disse vedmasser har vi brugt som et maximalt niveau for vedmassen i urørte skove. Vedmasseniveauet i de aktuelt ældste bevoksninger inden for Naturpakkens areal er lavere end de maksimalt observerede.
3) De overordnede retningslinjer for forvaltning af skove til biodiversitetsmål er søgt omsat til forventede ændringer i skovens sammensætning af træarter og aldersklasser (primært baseret på bilag 1 i Naturstyrelsen (2018)). Der vil være lokale variationer i den konkrete forvaltning, tilpasset de aktuelle potentialer for biodiversitet. Det vil påvirke den faktiske udvikling af såvel biomasse som dødt organisk stof. Påvirkningen kan både øge eller mindske optag og udledning af drivhusgasser. Der er indregnet to scenarier for reduktion af arealet med europæiske nåletræer. Dertil er der indarbejdet et scenarie for hugststop, hvorved der ikke udføres ændringer af træartssammensætning og strukturfremmende indgreb.

4) Udtag af biomasse fra skoven til kævler, tømmer og bioenergi varierer med træart, dimensioner, høst-teknologi samt muligheder for afsætning, og denne variation er ikke inddraget. Dertil er der forskellige klimaeffekter af udtaget, hvor særligt produkter med lang levetid, som bygningselementer og møbler, lagrer kulstoffet i en længere periode og mindsker forbrug af energikrævende materialer. Biomasse til energi kan substituere fossile energikilder, hvor effekten i høj grad afhænger af, hvilken type energikilde, der erstattes med træ. Analysen opgør kulstofpuljen i vedmasseudtaget samlet med en substitution på 1:1. Det er antaget, at udlægget af urørt skov ikke påvirker det samlede marked for træ.

De nævnte usikkerheder vil kunne påvirke resultatet i forskellige retninger. Den givne tidsramme for første version gav ikke mulighed for at udarbejde en følsomhedsanalyse. I denne reviderede udgave er der gennemgået yderligere data for vedmasseudvikling og dermed indgår der to alternative udviklinger.

I Afsnit 5 er der en uddybet gennemgang af de forskellige elementer i beregningerne.

3.3. Overblik

3.3.1. *Effekt på langt sigt*

Et samlet overblik over emissionerne ved de forskellige scenarier er givet i Tabel 1 – Sammendragstabel. Samlet set vil udlægning af 13.800 ha ekstra skov til urørt skov og biodiversitet i henhold til Naturpakken, på langt sigt (200 år), reducere arealets optag af drivhusgasser til 0-7 kt CO_2 eq pr år (inkl. hugst af træ), mod referenceudviklingens (BAU) fortsatte optag på ca. 90 kt CO_2 eq pr år.

For referenceudviklingen er der igennem hele perioden et optag på 58 til 108 kt CO_2 eq pr år. Frem til år 2200 giver referenceudviklingen (BAU) et kulstofoptag på 17.000 kt CO_2 eq.

Udlæg efter Naturpakken er beregnet med 2 niveauer af vedmasseudvikling, og for 3 scenarier (se Tabel 1). Hvis omstillingen foretages som antaget Naturpakken, herunder at der gennemføres hugst i omstillingsperioden, og de derefter urørte skove bibeholder det aktuelle vedmasseniveau, vil arealet have et samlet kulstofoptag på ca. 3.200 kt CO_2 eq frem til 2200 (scenarie 1a). Det antages, at der produceres træprodukter som en del af omstillingen men ikke efter omstillingsperioden er gennemført.

Hvis omstillingen foretages som antaget Naturpakken, herunder at der gennemføres hugst i omstillingsperioden, og de derefter urørte skove opbygger det maksimale vedmasseniveau fås et samlet kulstofoptag på ca. 6.800 -7.100 kt CO_2 eq frem til 2200 (gælder i både scenarie 1 og 2). Det antages, at der produceres træprodukter som en del af omstillingen men ikke efter omstillingsperioden er gennemført.

Hvis der på Naturpakkens arealer gennemføres et fuldt hugststop, vil der være et kulstofoptag på ca. 6.200 kt CO_2 eq frem til 2200. Tallene afspejler at hugststoppet medfører færre lysåbne arealer og derved en større opbygning af kulstof i skoven, men også at der ikke vil være et hugstudtag med deraf følgende lagring af kulstof i træprodukter.

3.3.2. *Effekt på kort sigt*

I den første del af omstillingsperioden (indtil 2025 i Tabel 1) har omlægningen til urørt skov ingen eller kun en mindre effekt på det samlede optag og udledning. Det skyldes især, at det træ, der fældes i omstillingsperioden, stort set svarer til det, der fældes, hvis skoven ikke var udlagt til biodiversitetsformål. Kulstoffet i det fældede træ lagres i tømmer i bygninger eller i andre træprodukter, mens energitræ (biomasse) subsidierer fossile brændsler (ses i rækkerne med høstet træ i Tabel 1, uden angivelse af fordeling til træprodukter og energi).

Efter omstillingsperioden vil udlagte skove i en periode optage CO_2, mens vedmasseniveauet øges, hvorefter arealets samlede nettooptag af CO_2 reduceres i forhold til, hvis de samme arealer blev drevet efter Naturstyrelsens sædvanlige naturnære skovdriftsprincipper. Det skyldes, at vedmasseniveauet stabiliseres efterhånden, som optaget i de levende træer modsvares af udledninger fra døde og rådnende træer. Optaget i den urørte skov falder gradvist til ca. 10 % af optaget i referencescenariet efter 200 år, hvorefter der forventes at være en netto-ligevægt i skoven, men med begrænset mulighed for lagring af optaget kulstof i træprodukter (hugst kun i arealer udlagt som Anden biodiversitetsskov). Dette niveau opnås ved den maximale vedmasse, om observeret i urørte skove i østlige Danmark. Stormfald, nedsat overlevelse som følge af tørke eller for høj fugtighed, samt andre faktorer vil kunne reducere vedmasseniveauet og dermed kulstofoptaget.

Forskellene mellem referenceberegningen (BAU) og udlægget efter Naturpakken er knyttet til følgende hovedelementer, med grundlag i de antagelser og modeller der er beskrevet i Bilag 1 og det tilhørende regneark:

1) Udlæg efter Naturpakken vil give en stigning i kulstoflageret på arealet i såvel levende biomasse som dødt ved i løbet af de første 200 år, som følge af fraværet af hugst på det træbevoksede areal (fra 4,3 mio. t CO_2 eq til maksimalt 9,6 mio. t CO_2 eq.). Nogle arealer vil indledningsvist blive ryddet (især nål) og udlagt til naturlig

tilgroning. Disse arealer er inkluderet med et lavere kulstofoptag Ved et totalt hugststop vil der blive etableret færre arealer med naturlig tilgroning og alle nåletræsarealer bevares, hvorved kulstoflageret forventes at kunne blive maksimalt 11,1 mio. t CO_2 eq (forudsat at der ikke opstår stormfald, skovbrand etc.). I perioden frem til 2200 forventes biomassen at stige og derefter stabilisere sig. For reference-tilstanden med naturnær skovdrift, forventes biomassen at stabilisere sig på et lavere niveau (3,9 mio. t CO_2 eq). Kulstoflageret fremgår af rækkerne med Kulstoflager i Tabel 1.

2) Udlæg efter Naturpakken vil omfatte en større andel arealer udlagt til naturlig tilgroning. Dette skyldes, at nogle arealer vil blive ryddet for at skabe lysninger og føde, hvis arealerne skal omfattes af skovgræsning. En del af arealer bliver vådere efter overgang til naturlig hydrologi og træer tilpasset mere tør bund vil dø. og der vil kun blive foretaget plantning i begrænset omfang. Græsning og vådere jorde betyder, at disse arealer ikke bliver bevokset med træer med samme tæthed som de øvrige arealer. Kulstoflageret i træerne på de arealer, der er udlagt til naturlig tilgroning, indgår i den samlede pulje af Kulstoflager i Tabel 1, mens arealet fremgår af rækken med Lysåbne arealer.

3) Udlæg efter Naturpakken vil øge mængden af vand i skovene som følge af retablering af naturlig hydrologi. De præcise effekter på kulstofpuljen i jord, og på udledninger af andre drivhusgasser er usikre på grund af manglende kvantitativ viden. På baggrund af standardfaktorer (IPCC 2014) vil det give anledning til øget udledning af metan (CH_4), som følge af flere våde organiske jorder, mens der vil være en faldende udledning af lattergas (N_2O) og CO_2 fra våde organiske jorde. Der er ikke indregnet effekter på de tørre jordes indhold af kulstof, da der ikke er repræsentative data, og de få case-studier tyder på begrænset effekt, så længe jorden forbliver veldrænet. I referenceberegningen er der en udledning på 4,0 kt CO_2 eq pr år fra skovjorden, mens udlæg efter Naturpakken beregnes at give en udledning på 1,9 kt CO_2 eq pr år.

4) Udlæg efter Naturpakken vil reducere den biomasse, der kan høstes til kævler, tømmer og bioenergi. Der vil være en mængde svarende til referencen (ca. 109.000 m^3/år) under omstillingsperioden, hvorefter det forventes at falde til under 10 % heraf (ca. 4-9.000 m^3). Dette vil være gældende også frem til 2200. Dette vil påvirke rapportering af Harvested Wood Products (HWP) og leverancer af energitræ. I Tabel 1 er medtaget kulstofindholdet i høsten uden indregning af substitutionseffekter og uden opdeling til efterfølgende anvendelse.

Usikkerheden i den estimerede udvikling af biomasse i referencescenariet er knyttet til, at der i fremskrivningen er brugt standardmodeller udviklet for hele Danmarks skovareal, mens Naturstyrelsen forvalter efter naturnær skovdrift. Der er ikke endnu udviklet et generelt prognoseværktøj for denne type forvaltning. Hvis Naturstyrelsens naturnære forvaltning i gennemsnit fører til større stående vedmasser end det kan forventes for Danmark som helhed, vil referencen resultere i et højere optag end indregnet her.

4. Sammendragstabel

Tabel 1 Effekter af forskellige scenarier for forvaltning af 13.800 ha træbevokset areal. Alle drivhusgasser omregnet til samme enhed, CO_2 ækvivalenter (CO_2 eq.).

	2017	2027 (2017-2027)	2032 (2027-2032)	2050 (2033-2050)	2100 (2051-2100)	2200 (2101-2215)
Reference udvikling (BAU) – Naturstyrelsens fortsatte planmæssige drift – aktuelt vedmasseniveau						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.456	4.326	4.210	3.668	3.986	4.042
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		13,0	23,3	30,1	-6,4	-0,5
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4	3,4
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*		**16,9**	**27,2**	**34,1**	**-2,4**	**3,5**
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**169**	**306**	**919**	**801**	**1.204**
Lysåbne arealer (ha)	232	232	232	232	232	232
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		**-125**	**-114**	**-92**	**-88**	**-91**
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.248**	**-1.817**	**-3.470**	**-7.873**	**-18.306**
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		**-108**	**-86**	**-58**	**-90**	**-87**
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.079**	**-1.511**	**-2.551**	**-7.072**	**-17.102**
Scenarie 1a: Udvikling som følge af udlæg efter Aftale om Naturpakken – lavt vedmasseniveau						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.456	4.326	4.259	4.576	5.294	5.745
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		13,0	13,3	-17,6	-14,4	-3,9
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,1	0,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*	**4,0**	**16,9**	**15,6**	**34,1**	**-2,4**	**-2,0**
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**167**	**243**	**-39**	**-662**	**-894**
Lysåbne arealer (ha)	232	2.815	2.815	4.334	4.520	4.520
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		**-120**	**-21**	**-32**	**-3**	**-2**
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.202**	**-1.308**	**-1.883**	**-2.051**	**-2.315**
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		**-104**	**-6**	**-48**	**-16**	**-4**
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.035**	**-1.065**	**-1.922**	**-2.713**	**-3.209**
Scenarie 1b: Udvikling som følge af udlæg efter Aftale om Naturpakken – maksimalt vedmasseniveau						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.456	4.326	4.630	6.090	8.256	9.302
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		13,0	-60,7	-81,1	-43,3	-9,1
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,1	0,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*		**16,7**	**-58,8**	**-79,2**	**-41,4**	**-7,2**
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**167**	**-127**	**-1.553**	**-3.624**	**-4.451**
Lysåbne arealer (ha)	232	2.815	2.815	4.334	4.520	4.520
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		**-120**	**-21**	**-32**	**-3**	**-2**
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.202**	**-1.308**	**-1.883**	**-2.051**	**-2.315**
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		**-103**	**-80**	**-111**	**-45**	**-9**
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.035**	**-1.435**	**-3.436**	**-5.675**	**-6.766**

	2017	2027 (2017-2027)	2032 (2027-2032)	2050 (2033-2050)	2100 (2051-2100)	2200 (2101-2215)
Scenarie 2: Ny alternativ udvikling med mindre udtag af europæisk nål – maksimalt vedmasseniveau						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.456	4.330	4.860	6.428	8.591	9.654
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		12,6	-105,9	-87,1	-43,3	-9,2
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,1	0,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*		**16,3**	**-104,0**	**-85,2**	**-41,4**	**-7,3**
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**163**	**-357**	**-1.891**	**-3.959**	**-4.803**
Lysåbne arealer (ha)	232	2.815	1.975	3.030	3.401	3.556
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		**-104**	**-19**	**-32**	**-4**	**-3**
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.043**	**-1.139**	**-1.709**	**-1.926**	**-2.311**
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		**-88**	**-123**	**-117**	**-46**	**-11**
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-880**	**-1.496**	**-3.600**	**-5.885**	**-7.115**
Scenarie 3: Ny alternativ udvikling med hugststop – maksimalt vedmasseniveau						
Kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq)	4.456	6.003	6.678	8.447	9.973	11.026
Ændring i kulstoflager (AG+BG+DW+FF) (kt CO2 eq/år)		-154,7	-135,1	-98,3	-30,5	-9,2
CO2 fra drænede jorde (kt CO2 eq/år)	3,4	3,1	0,7	0,7	0,7	0,7
N2O fra drænede organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,5	0,4	0,1	0,1	0,1	0,1
CH4 fra drænede og genopfugtet organiske jorde (kt CO2 eq/år)	0,1	0,2	1,1	1,1	1,1	1,1
Kulstoflager og jord, sum (kt CO2 eq/år)*		**-151**	**-133**	**-96**	**-29**	**-7**
Kulstoflager og jord, akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.510**	**-2.176**	**-3.910**	**-5.341**	**-6.175**
Lysåbne arealer (ha)	232	232	232	232	232	232
Høstet træ (træprodukter og energi) (kt CO2 eq/år)*		**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Høstet træ - akkumuleret siden 2017 (kt CO2 eq)**		**0**	**0**	**0**	**0**	**0**
Samlet ændring /år (kt CO2 eq /år) *		**-151**	**-133**	**-96**	**-29**	**-7**
Samlet akkumuleret effekt siden 2017 (kt CO2 eq)**		**-1.510**	**-2.176**	**-3.910**	**-5.341**	**-6.175**

Noter næste side

Noter til Tabel 1:

Kulstoflager – samlet lager i 1) levende overjordisk AG og 2) underjordisk biomasse BG, 3) dødt ved DW, og 4) skovbundens lag af ikke omsatte blade, nåle og grene (litter) FF

CO_2, N_2O og CH_4 er effekter af dræning og ophør af dræning på arealerne. Emissioner er omregnet til CO_2 eq. Se også afsnit 5.8.

Lysåbne arealer – angiver areal der forventet at være ubevokset (i BAU scenariet) og hhv. lavt bevokset efter udlæg efter Naturpakken. Se også bilag 1.

Høstet træ angiver kulstofindholdet i det fældede træ. Der er ikke medregnet substitutionseffekter ud over 1:1. Se også bilag 1.

Omstillingsperioden for urørt løvskov forventes afsluttet i 2026, antaget ved udgangen af 2027.

Omstillingsperioden for urørt nåleskov forventes afsluttet i 2066, antaget ved udgangen af 2057.

Scenarie 1 Udlæg til urørt skov lader en andel på 25 % af europæisk nål forblive på arealerne.

Scenarie 2: Udlæg urørt skov lader en større andel på 50 % af europæisk nål forblive på arealerne.

*Samlet effekt opgjort i kt CO_2 eq/år)", der angiver summen af effekter for hhv. kulstoflager og jord, høstet træ og samlet effekt. Negative tal i disse rækker angiver samlet optag af drivhusgasser fra atmosfæren, mens positive tal angiver udledning.

** Akkumuleret siden 2017 – angiver sum over år for effekterne i kt CO_2 eq for for hhv. kulstoflager og jord, høstet træ og samlet effekt.

5. Uddybende beskrivelser

Nedenstående er en teknisk beskrivelse af beregningerne som kan ses i sammenhæng med de regneark, der indeholder data såvel som beregninger. Der angives også usikkerheder og muligheder for udbygning og behov for yderligere forskning.

5.1. Forkortelser og begreber

AG – Overjordisk levende biomasse, omfatter alle dele af træerne (above ground biomass, også ofte angivet som AGB)

BG – Underjordisk levende biomasse, omfatter rødder af levende træer (below ground biomass, også ofte angivet som BGB)

DW – dødt ved, som opmålt med NFI, med en mindste diameter på 10 cm. Omfatter såvel stående døde træer som liggende stykker på minimum 2 m længde.

FF – blade, kviste og grene der ligger i skovbunden (forest floor, også nogle gange omtalt som litterlaget)

SOC – kulstofindhold i jorden, opgjort til 1 m dybde, jf. standarden i IPCCC rapportering (soil organic carbon)

Kulstofoptag - beskriver processen med optag af CO_2 gennem fotosyntese i planter. Det beskriver en ændring i kulstoflager over tid.

Kulstoflager – er beskrivelsen af en samlet mængde kulstof i en pulje (fx levende biomasse, dødt ved eller jordbunden). Lager opgøres ved et bestemt tidspunkt. I rapportering for skov til IPCCC med 31.12 hver år som skærings dato.

Udledning af drivhusgasser – beskriver processer der frigiver drivhusgasser. I beregningerne medtages udledning af kuldioxid (CO_2), lattergas (N_2O) og metan (CH_4) fra jord, særligt organiske og våde jorde. De omregnes alle til CO_2 ækvivalenter (ud fra deres opvarmningspotential i atmosfæren det såkaldet ”global warming potential” GWP100 – dvs. de forskellige drivhusgassers effekt i et 100 års perspektiv) hvor GWP er 298 for lattergas og 25 for metan.

Substitutionseffekt – den CO_2 der fortrænges ved brug af træ i stedet for andre materialer (til energi og byggeri). Substitutionseffekt kan opgøres både direkte ift. mængden af energi der dannes ved forbrænding af træ vs forbrænding af fossil energi. Ved substitution af byggematerialer som beton, kan forskellige elementer inddrages i substitutionseffekten – dvs. forskelle i energi forbrug ved produktion af bygningselement, energi til transport og byggeri, samt lagring af CO_2 i byggeri. Forskellige systemafgrænsninger påvirker opgørelsen af substitutionseffekt.

Klimaeffekt – bruges til beskrivelse af den samlede effekt af kulstofoptag og udledning af drivhusgasser – kuldioxid (CO_2), lattergas (N_2O) og

metan (CH_4). I denne samlede klimaeffekt kan også indgå substitutionseffekter og albedo effekter (varme optag/refleksion fra overfladen). I nærværende er disse to sidste elementer ikke specifikt kvantificeret og klimaeffekt anvendes her om drivhusgasbalance.

HWP – Harvested Wood Products. Den andel af hugsten der anvendes til skåret træ, træplader og papir kan indgå i LULUCF regnskabet, med halveringstider der angiver hvor hurtigt det forsvinder fra den samlede pulje af træprodukter.

LULUCF - Land Use, Land-Use Change and Forestry

5.2. Datagrundlag

Naturstyrelsen har stillet GIS-lag til rådighed der angiver afgrænsning og type af udlæg efter Naturpakken. Samtidig er der stillet GIS lag samt dataregister (bevoksningsliste) til rådighed for Naturstyrelsens arealer med information om anvendelse og aktuel tilstand.

Der er medtaget de fulde polygoner udlagt, inkl. tidligere udlagte arealer. Effekten af de tidligere udlagte arealer er indregnet i referenceberegningen, således, at det er effekten af de nye udlagte arealer, der opgøres.

Nedenstående tabeller beskriver strukturen af arealerne i Naturpakken og er tidligere rapporteret af Ejrnæs et al. (2019, afsnit 8.2, Tabel 10-12). Data vedr. dødt ved er opdateret efter korrektion af beregningerne i Skovstatistik 2018 (Nord-Larsen et al., 2020).

For de udpegede arealer er der en lavere vedmasse end for skovarealet som gennemsnit (ved sammenstilling af NST's areal data og opgørelser rapporteret i Johannsen et al 2019). Dette gør sig særligt gældende for løvtræsarealerne.

Tabel 2 Fordeling af bevoksningstyper baseret på NFI data (2012-2016). for Naturpakkens skove sammenlignet med NST i øvrigt (næstsidste kolonne) og skovarealet i øvrigt (sidste kolonne).

		Løvskov – urørt	Løvskov - Anden biodiversitetsskov	Nåleskov – urørt	Naturstyrelsen i øvrigt	Skovareal i øvrigt
Løv	%	66	65	28	33	50
Nål	%	28	34	65	63	45
Midlertidigt ubevokst	%	2	1	4	3	3
Andre arealer	%	4	0	3	1	2
Total	%	100	100	100	100	100

Tabel 3 Fordeling af skovdyrkningssystem baseret på NFI data (2012-2016). for Naturpakkens skove sammenlignet med NST i øvrigt (næstsidste kolonne) og skovarealet i øvrigt (sidste kolonne).

		Løvskov – urørt	Løvskov - Anden biodiversitetsskov	Nåleskov - urørt	Naturstyrelsen i øvrigt	Skovareal i øvrigt
Ensaldrende, plantning	%	52	63	68	72	66
Uensaldrende og gamle driftsformer	%	41	37	28	27	32
Andre arealer	%	7	0	5	1	3
Total	%	100	100	100	100	100

Tabel 4 Strukturinformationer baseret på NFI data (2012-2016) for Naturpakkens skove sammenlignet med NST i øvrigt (næstsidste kolonne) og skovarealet i øvrigt (sidste kolonne).

		Løvskov - urørt	Løvskov - Anden biodiversitetsskov	Nåleskov - urørt	Naturstyrelsen i øvrigt	Skovareal i øvrigt
Dødt ved	m^3/ha	10,1	12,0	8,6	7,5	5,0
Areal andel med dbh>50	%	32	23	9	9	10
Areal andel med dbh>60	%	21	13	6	5	5

Ovenstående opgørelser er beregnet på grundlag af data fra Danmarks Skovstatistik (NFI). I forhold til træartsfordelingen kan det ses, at de udpegede arealer til urørt løvskov og anden biodiversitetsskov har en betydelig højere andel løv end såvel Naturstyrelsens øvrige arealer som skovarealet i øvrigt (Tabel 2). For de udpegede arealer til urørt nåleskov er andelen af løv mindre end de øvrige opgørelser. Arealerne udlagt til urørt løvskov har en lavere andel af ensaldrende plantninger end resten af skovarealet og dermed en højere andel af uensaldrende og gamle driftsformer (Tabel 3). I forhold til den aktuelle struktur er der mere dødt ved og en større andel store træer (diametre over 50 og 60 cm) i de udpegede arealer end i resten af skovarealet (Tabel 4).

5.2.1. *Muligheder for udbygning*

Data fra kortlægning af skovressourcer ud fra laser scanning (Schumacher & Nord-Larsen 2014, Nord-Larsen et al. 2017) vil kunne udbygge datagrundlaget. Gentagen kortlægning med disse metoder vil kunne bidrage væsentligt til at dokumentere udviklingen i skovenes biomasse over tid, særligt fordi de er udført før implementering af Naturpakken.

Gentagene opgørelser for arealerne baseret på Danmarks Skovstatistik vil kunne give nogle generelle informationer om udviklingen. Der er lavet forslag om etablering af en baseline og forslag til en monitering af de udlagte skove med henblik på at kunne dokumentere effekterne på skovenes biodiversitet (Ejrnæs et al. 2019). Det vil kunne bidrage til kommende analyser og dokumentation hvis det implementeres.

Der er kun medtaget arealer omfattet af Naturpakken. Analyser vil kunne gennemføres for andre typer af skove, anden sammensætning af træarter og aldre og anden omstillingsproces. Naturpakke arealerne omfatter en stor andel løvskov, med en stor andel der allerede er forvaltet med uensaldrende skovtyper og strukturer (jf. ovenfor). Andre arealer vil have udviklinger, der kan ligne, men der vil være variationer, særligt hvis helt anderledes skove inddrages (fx med større andel af nåleskov og ensaldrende bevoksninger). Der har ikke inden for tidsrammen være ressourcer til eksempelberegninger.

5.3. Modelgrundlag

I forbindelse med udarbejdelsen af Danmarks bidrag til Parisaftalen har IGN udarbejdet modeller for fremskrivning af udviklingen for skovene. Dette er indarbejdet i publikationen Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030. Modellerne er beskrevet deri, og beskriver typiske levetider for skove i Danmark, fordelt på løv/nål og Øerne/Jylland (Johannsen et al. 2019). Det aktuelle niveau af vedmasse på Naturpakke-arealerne påvirker fremskrivningen for reference udviklingen.

5.3.1. *Muligheder for udbygning:*

Der er behov for bedre modeller for vækst og udvikling af såvel bevoksninger under naturnær skovdrift som urørt skov. Arealfremskrivningerne er baseret på enkle fremskrivninger med såkaldte Markov modeller.

5.4. Vedmasseudvikling på træbevoksede arealer

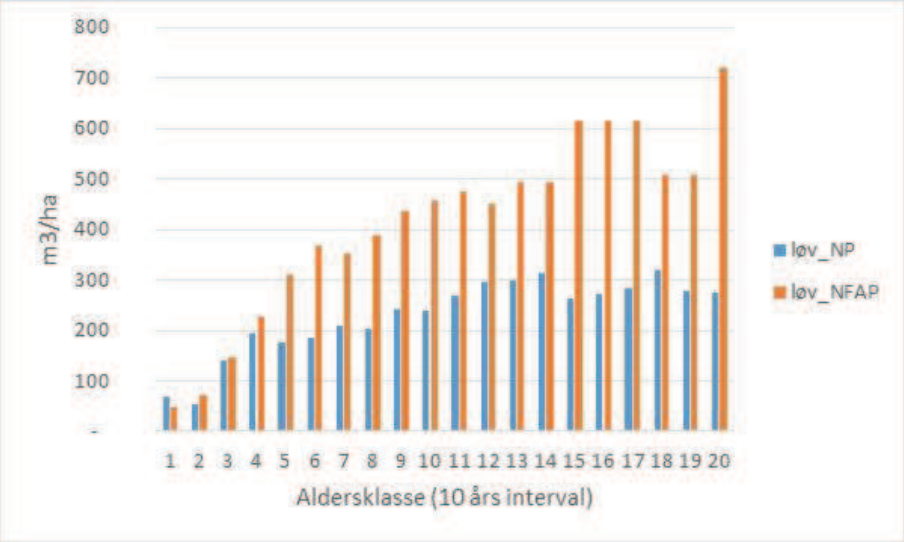
5.4.1. *Reference udvikling – naturnær skovdrift*

Vedmasseudviklingen er baseret på fremskrivning af aldersklasserne baseret på modellerne for levetider kombineret med den aktuelle opgørelse af vedmasseniveauer i hver aldersklasse. Der er således anvendt en såkaldt 'stock change' tilgang, hvor der ikke indarbejdes specifikke modeller for tilvækst, hugst og mortalitet, men opgørelsen af optag og udledning baseres på netto-ændringer i kulstofpuljerne over tid.

Fremskrivningerne er baseret på 5 års intervaller (for at følge Danmarks Skovstatistik's 5 årige rotationsinterval, der ligger til grund for mange af beregningerne). Der er benyttet separate modeller fra Johannsen et al (2019) for løv på Øerne og for nål i Jylland, for bedst muligt at afspejle vækstvilkår for arealerne omfattet af udpegningen, og som dermed indgår i analysen. Der er ikke grundlag for særlige fremskrivningsmodeller for Naturstyrelsens arealer.

Naturstyrelsens data er sammenstillet så det passer med modellerne.

Der er ikke indarbejdet særlige modeller for øget udpegning af livstræer eller øget brug af overstandere, ud over det der allerede indgår i Naturstyrelsens aktuelle opgørelser af vedmasser, herunder hyppighed og volumen af overstandere. Dette gælder også de aktuelle niveauer for løvtræsarealerne, der er lavere end gennemsnittet som opgjort i Johannsen et al. 2019.



Figur 1 Vedmasseniveauer for aldersklasser for løvtræsarealer i Naturpakke arealer sammenholdt med vedmasseniveauer for skovarealet samlet på Sjælland (Johannsen et al 2019).

5.4.2. *Simulering af udlæg efter Aftalen om Naturpakken*

Nedenstående beskrivelser af simuleringen er baseret på Naturstyrelsens overordnede forvaltningsbeskrivelser (Naturstyrelsen 2018).

- Urørt løvskov
  - I omstillingen og efterfølgende overgår al løv gradvist til de ældre aldersklasser.
  - I omstillingen reduceres arealet med europæisk nål til 25 % af det nuværende i hver aldersklasse og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser. I den alternative beregning (scenarie 2) reduceres arealet med europæisk nål til 50 % af det nuværende i hver aldersklasse og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser.
  - I omstillingen ryddes al eksotisk nåletræ og arealet overgår til lysåbne arealer, der overføres til naturlig tilgroning og skovgræsning.

- Urørt nåleskov
  - I omstillingen og efterfølgende overgår al løv gradvist til de ældre aldersklasser.

- I omstillingen forvaltes europæisk nål med hugst og overgang til lysåbne arealer, der overføres til naturlig tilgroning og skovgræsning. En længere omstilling fører til sen reduktion af arealet med europæisk nål til 25 %. I den alternative beregning (scenarie 2) reduceres arealet med europæisk nål kun til 50 %. Arealer med nål ældre end 140 år bevares og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser.
- I slutningen af omstillingen ryddes al eksotisk nåletræ og arealet overgår til lysåbne arealer der overføres til naturlig tilgroning og skovgræsning. Indtil da vokser de eksotiske nåletræer og høstes løbende.

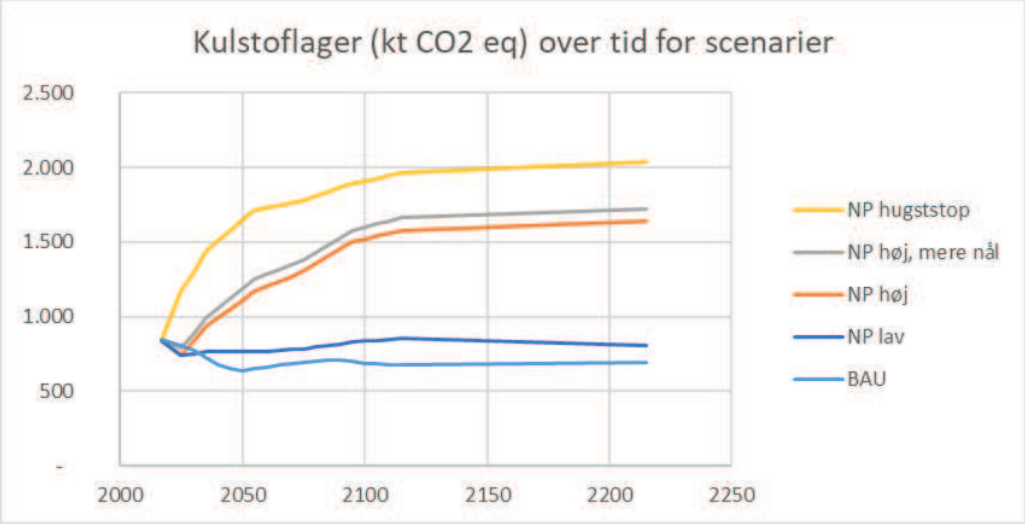
- Anden biodiversitetsskov
  - Omstilles straks og efterfølgende overgår al løv gradvist til de ældre aldersklasser.
  - Europæisk nål forynges efter samme model som for referenceberegningen, hvorefter de overgår til naturlig foryngelse og skovgræsning. Arealer med europæisk nål ældre end 140 år bevares og overgår derefter til gradvis ældre aldersklasser.
  - Eksotisk nåletræ forynges efter samme model som for reference beregningen, hvorefter de overgår til naturlig tilgroning og skovgræsning.

Fælles for alle tre typer af udlæg er, at i scenarie 3, med umiddelbart hugststop, foretages der ingen hugst eller ændring af arealanvendelse. Dette giver til sammenligning med de øvrige scenarier mulighed for en følsomhedsberegning ift. om der foretages indledende lysning og ændring af træartssammensætning eller ej. I praksis er Naturstyrelsen i gang med omstillingen jf. de angivne retningslinjer (Naturstyrelsen 2018), hvorfor det vil påvirke effekten ved implementering fra 2020. Der er ikke grundlag for at vurdere omfanget af den udførte implementering.

Der er i vedmasseudviklingen ikke taget specielt højde for tiltag i de overordnede retningslinjer om strukturhugst og veteranisering, da der ikke er grundlag for særlige modeller herfor. Niveauer af biomasse ved starten af perioden i de forskellige aldersklasser ligger derfor til grund for fremskrivningen. Der er som i referenceberegningen anvendt det princip der kaldes 'stock change' hvor der ikke indarbejdes specifikke modeller for tilvækst, hugst og mortalitet, men at udledninger og optag opgøres ud fra netto-ændringen i skovens kulstoflager.

I 2019 versionen af beregningerne blev Naturstyrelsens aktuelle vedmasseniveau fordelt på træarter og aldersklasser (pr. 2017) brugt som en samlet opgørelse af skovens respons på skovdriften. I den reviderede model

(se Tabel 5) er anvendt en udvikling af vedmasseniveauer støttet af observerede niveauer fra et projekt for østdanske natur og kulturskove (Nord-Larsen et al 2019, Møller 2017, Kepfer-Rojas et al. 2017, Pauer 2016). Fra tabel 3 i Kepfer-Rojas et al. (2017) er "plukhugst" brugt som reference for løv i anden biodiversitetsskov og "urørt" for løv og nål i udlæg til urørt løvskov. For nåletræer er ansat værdier baseret på langsigtede referenceprøveflader uden hugst for anden biodiversitetsskov (niveau 500 m^3/ha) og for urørt nåleskov (niveau 400 m^3/ha). Løvtræer, ej hjemmehørende, forventes at have lidt lavere niveau end de hjemmehørende løvtræer. Dermed er der både et maximalt (scenarie 1b) og en lavere niveau for vedmasseopbygning (scenarie 1a), idet vedmasseniveauet i de aktuelt ældste bevoksninger inden for Naturpakkens areal er lavere end de maksimalt observerede. De to scenarier (1a og 1b) udgør en enkelt følsomhedsberegning.
Udviklingen i den overjordiske biomasse (AG) kan ses i Figur 2 nedenfor for de forskellige scenarier.
Detaljerede tabeller for de forskellige skovtyper kan ses i bilag - Tabel 11 - Tabel 14.



Figur 2 Kulstoflager i overjordisk biomasse (kt CO2 eq) over tid for de forskellige scenarier og vedmasseniveauer.

Tabel 5 Maksimal levende vedmasse pr ha for forskellige skovtyper og udlæg.

Skovtype	m^3/ha
Anden biodiversitetsskov	
Løvtræer, hjemmehørende	479
Løvtræer, ej hjemmehørende	479
Nåletræer, europæiske	500
Nåletræer, eksotisk	500
Urørt løvskov	
Løvtræer, hjemmehørende	624
Løvtræer, ej hjemmehørende	500
Nåletræer, europæiske	624
Nåletræer, eksotisk	624
Urørt nåleskov	
Løvtræer, hjemmehørende	400
Løvtræer, ej hjemmehørende	300
Nåletræer, europæiske	400
Nåletræer, eksotisk	400

5.4.3. *Muligheder for udbygning:*

Der er brug for udbygning af datagrundlag for modeller for udvikling af biomasse i både naturnær skovdrift og i arealer forvaltet for biodiversitet, både urørte og biodiversitetsforvaltede arealer. Referencegrundlaget for omstillinger fra plantager til urørte skove er stadig begrænset og udlæg af arealer efter Naturpakken er en unik mulighed for at dokumentere dette. Det bemærkes, at arealerne omfattet af Naturpakken for løvtræsarealerne har en lavere vedmasse end for skovarealet i gennemsnit, hvilket påvirker udviklingen for referencescenariet og for scenariet for det lave vedmasseniveau.
Udviklingen over tid fra aktivt forvaltet skov til urørte skove er fremskrevet med et simpelt tillæg af vedmasse ellers fjernet ved hugst. Der mangler datagrundlag for at beskrive denne overgang.

5.5. Vedmasseudvikling på arealer ryddet til naturlig succession

5.5.1. *Reference udvikling – naturnær skovdrift*

Det forventes et konstant areal under kultivering (UKU areal) på 232 ha. Der forventes ikke vedmasse på dette areal.

Vedmasseudviklingen beskrives af de niveauer der er registreret i 2017. Der er ikke tillagt ekstra vedmasse som følge af en forventet højere udpegning af veterantræer.

5.5.2. *Udlæg efter Aftalen om Naturpakken*

I forbindelse med rydning af en række bevoksninger og fjernelse af bl.a. eksotiske nåletræer og en del rødgran vil der opstå arealer, der vil henligge til naturlig succession, herunder arealer til skovgræsning. Der vil kun i begrænset omfang blive foretaget plantning. Arealer udlagt til urørt nåleskov kan løv blive indplantet (jf. Naturstyrelsen 2018). Der forventes en meget lysåben/spredt bevoksning på disse arealer, hvorfor vedmasse udviklingen på disse arealer forventes at være som angivet i tabellen herunder. Der er tale om skøn, baseret på vedmasseniveauer for andet løv fra Nord-Larsen et al (2017) og reduceret da der forventes at være en del arealer, hvor der ikke er tæt bevoksning. I forbindelse med revisionen af notatet er tilført et højere vedmasseniveau på arealer med naturlig tilgroning.

Tabel 6 Vedmasseniveauer for naturlig tilgroning i lysåbne arealer

	Lav niveau	1a		Høj niveau	1b-3	
År	Urørt løvskov	Urørt nåleskov	Anden biodiversitetsskov	Urørt løvskov	Urørt nåleskov	Anden biodiversitetsskov
	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha	m^3/ha
2017	0	0	0	0	0	0
2027	10	10	10	10	10	10
2037	20	20	20	50	50	50
2057	30	20	30	75	75	50
2077	40	20	40	75	75	75
2097	60	40	60	100	100	100
2117	75	50	75	100	100	100
2217	75	75	75	100	100	100

5.5.3. *Muligheder for udbygning:*

Tilgroning og effekt af græsning på udviklingen af biomasse på disse arealer er ikke tidligere dokumenteret over længere perioder. Der vil således være behov for at øge viden og data herom.

5.6. Puljen af dødt ved i skoven

Grundlæggende er der anvendt samme principper som i Johannsen et al (2015) fra delrapporten om prognose for udviklingen fremover.

5.6.1. *Reference udvikling – naturnær skovdrift*

Udviklingen i dødt ved for fortsat naturnær skovdrift følger principperne i rapporten om livstræer, efterladelse af træer ved stormfald og hugst m.v. Der er i referencen indregnet de arealer, der allerede var udlagt til urørt skov og andre særlige driftsformer. Beregningerne er udført frem til 2115 mens forventning til niveau for 2215 er 10 % over niveauet fra 2115.

5.6.2. *Udlæg efter Aftalen om Naturpakken*

Mængden af dødt ved på areler udlagt efter aftalen om Naturpakken følger niveauerne observeret for urørt skov og plukhugst i et projekt for østdanske natur og kulturskove (Nord-Larsen et al. 2019, Møller 2017, Kepfer-Rojas et al. 2017, Pauer 2016). Niveauerne er som angivet herunder. Det er forventet at urørt løv skov og anden biodiversitetsskov er på gode jorde (høj tilvækst), mens urørt nåleskov er på dårlige jorde (lavere tilvækst). Tallene er gennemsnitstal for det samlede areal, uanset om det er træbevokset eller udlagt til arealer med naturlig succession. Beregningerne er udført frem til 2115, mens forventning til niveau for 2215 er 25 % over niveauet fra 2115.

Tabel 7 Niveauer for dødt ved

År	Jordtype	urørt skov	Plukhugst, tilgroningsarealer, græsning særlig
		m^3/ha	m^3/ha
2017	Gode	8	8
2017	Dårlige	7	7
2065	Gode	100	35
2065	Dårlige	50	30
2115	Gode	150	50
2115	Dårlige	80	40
2215	Gode	188	62
2215	Dårlige	100	50

5.6.3. *Muligheder for udbygning*

Der vil være behov for at dokumentere den faktiske udvikling, herunder særligt dokumentation af veterantræer/livstræer og henfald af dødt ved over tid.

5.7. Ændret håndering af vand i skovene

For jordbund og hydrologi, er der allerede i rapporteringen af klimadata for de danske skove indarbejdet effekt af Handlingsplanen for naturnær skovdrift (Skov- og Naturstyrelsen 2005), der har medført mindsket dræning på en del af arealet. Dette udgør reference beregningen.

I forbindelse med udlæg efter Naturpakken forventes afvandingen yderligere reduceret og dermed øget fugtighed i de udlagte arealer som helhed. I rapporteringen beregnes klimagasser for det areal, der ændrer fugtighed, med fokus udelukkende på de organiske jorde. Faktorerne er beskrevet i Johannsen et al (2018) og IPCC (2014). Areal med grøfter i de udlagte arealer reduceres fra 2,5 % til 1 %. Andel af drænet organisk jord reduceres fra 50 % til 10 %, idet det forventes at være behov for afvanding på meget få arealer.
Der anvendes følgende standard emissionsfaktorer, som også anvendes i den almindelige rapportering af skovenes klimaeffekt (Johannsen et al. 2019).

Tabel 8 Emissionsfaktorer for rapportering fra organiske og vådgjorte jorde (se mere i Johannsen et al 2019)

Element	faktor	Enhed	Kilde
N2O EF for Drained organic soils	4,4	kg N2O/ha/år	wetland supplement p.3:19 negligible if watertabel shallower than 20 cm
CH4 EF for organic drained soils	**2,5**	kg CH4/ha/år	Wetland supplement tabel 2.3, i GPG2006 opdelt i poor og rich
CH4 EF for ditches on organic drained soils	**217**	kg CH4/ha/år	Wetland supplement chp 2 tabl 2.4
CH4 EF for organic rewetted poor soils	**92**	kg CH4-C/ha/år	Wetland supplement tabel 3.3, men her opdelt i poor/rich
CH4 EF for organic rewetted rich soils	**216**	kg CH4-C/ha/år	Wetland supplement tabel 3.3
CH4 EF rewetted Inland Mineral Wetland Soils	**235**	kg CH4-C/ha/år	WS table 5.4, s 5.18
EF_organic_soils, Kg C/ha/år	2,6	ton CO2-C/ha/år	wetland supplement 2013 kap. 2 tabel 2.1

5.7.1. *Muligheder for udbygning:*

Kortlægning af vand og fugtighed i skovene kan udbygges både gennem direkte målinger og gennem analyse af bl.a. satellitbilleder samt kobling med de faktiske jordbundstyper. Der har endnu ikke været ressourcer til at foretage denne kortlægning, der vil kunne dokumentere tilstand og udvikling af vand i skovene.
Der er ikke lavet særskilt følsomhedsberegning for ændret hydrologi, men en sammenligning med referenceberegningen giver en indikation af de mulige effekter.
Der er brug for yderligere viden om effekten på kulstofkredsløbet i skove der bliver vådere som følge af ændret hydrologi og skal baseres på studier af

kulstofophobning i de vådere jord balanceret mod udledningen af andre drivhusgasser.

5.8. Jordbund

Der er ikke medregnet effekter på jordbundens indhold af kulstof generelt, men der er brugt standard faktorer jf. Johannsen et al (2018) som følge af øget fugtighed på arealerne og dermed øget kulstofoptag i jord. Ved udtagning af landbrugsjorde fra almindelig drift til fx permanent græs eller skovrejsning, reduceres CO_2 udledningen fra den hyppige jordbearbejdning. Tilsvarende effekter er der ikke i skov, da jordbearbejdningen i reference beregningen (naturnær skovdrift) er minimal. Ved analyser af østdanske skove (Møller 2017) blev der fundet lavere niveau af kulstof og kvælstof i produktionsskov end i plukhugst og urørte skove (Kepfer-Rojas et al. 2017). Litteraturen på området er præget af de samme udfordringer som i ovennævnte data, idet gentagne målinger over tid endnu er sparsomme eller kun foretaget på meget få og små lokaliteter.

5.8.1. *Muligheder for udbygning*

Der er mulighed for at analysere data yderligere ligesom det vil være relevant med målinger over tid. Ændringer over tid følges i en landsdækkende sampling (SINKS skovjord). Ved målingen i 2008 blev der ikke fundet systematiske ændringer over tid. Den næste genmåling foretages 2018-2019 og resultaterne vil ligge klar i løbet af 2020. Ændringer i fugtighed vil være repræsenteret på en lille andel af stikprøven. Samspil mellem jordbundens struktur, hydrologi, nedbørsmønster og deposition af fx kvælstof fra atmosfæren vil påvirke udviklingen i jordbundens optag og udledninger af drivhusgasser.

5.9. Omlægning af arealer til skovgræsning

Skovgræsning forventes, som gennemsnitsbetragtning, at foregå på de arealer der er udlagt til naturlig succession og tilstødende lysåbne naturtyper. Der er i beregningerne af klimaeffekter derfor ikke udlagt yderligere arealer til græsning og der indregnes ikke klimaeffekter på jordbunden. Der er ikke indregnet klimaeffekter ved dyrehold i opgørelsen. I udbygningen af notatet er der for scenarie 1 (jf. Naturstyrelsen 2018) to beregninger af vedmasse på de lysåbne arealer (se også Tabel 11 (lavt niveau) og Tabel 12 (højt niveau) i afsnit 7 med Bilag. En græsning med færre dyr vil kunne resultere i et højere vedmasseniveau, mens den samlede effekt på såvel træartssammensætning og vedmasseudvikling afhænger af flere faktorer, herunder hvilke dyr der anvendes til skovgræsningen (Buttenschøn & Gottlieb 2019).

5.9.1. *Muligheder for udbygning:*

Effekten af skovgræsning på såvel opvækst af træer, påvirkning af litter lag samt jordbundens drivhusgasser er endnu meget lidt belyst. Der er behov for yderligere data og dokumentation af dette.

5.10. Høstede produkter fra skoven og deres anvendelse

Der er antaget standard hugsttal for såvel referenceudviklingen og for udlægget efter Naturpakken. I Nord-Larsen et al. (2017) er den gennemsnitlige hugst opgjort til 5,8 m^3/ha/år for landet som helhed. De udpegede arealer ligger hovedsagligt på gode boniteter. Hugsten er i samme publikation opgjort til 7,1 hhv. 6,9 m^3/ha/år for Region Hovedstaden og Region Sjælland. Hugstmængderne er beregnet ud fra forynget areal og tyndingshugst på det resterende areal jf. Tabel 9. Der forventes en mindre hugst i arealer udlagt til anden biodiversitetsskov, hvorfor hugst er sat til 50 % af hugst for standarden.

Tabel 9 Standard hugstmængder fra tynding ved forskellige aldersklasser, løv og nål

Alder	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195
Løv	0	0	0	5	7	7	8	9	10	9	8	7	6	5	3	2	2	2	2	2
Nål	0	0	7	7	9	13	13	8	8	8	7	7	6	5	3	2	2	2	2	2

For hugststop (scenarie 3) foretages ingen hugst.

Der er anvendt gennemsnitlig rumtæthed på 0,45 og kulstof/tørstof på 0,5 i omregningen til kulstofpuljer.

Tabel 10 Hugstmængder for scenarierne

	2027 (2017-2027)	2032 (2027-2032)	2050 (2033-2050)	2100 (2051-2100)	2200 (2101-2200)
Scenarie			**m^3/ha/år**		
Reference	10,5	9,5	7,7	7,4	7,6
Scenarie 1	10,1	1,8	2,7	0,3	0,2
Scenarie 2	8,7	1,6	2,7	0,4	0,3
Scenarie 3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

5.10.1. *Træprodukters substitution*

Der er ikke inddraget markedsmedierede substitutionseffekter for de enkelte vedmasseprodukter i analysen, da der ikke er foretaget sådanne analyser i Danmark. Det er således antaget, at markedet for træprodukter ikke påvirkes som følge af udlægget af skov til biodiversitetsformål.

Der er lavet en del undersøgelser af klimaeffekten af træprodukter, når også fortrængning tages i betragtning. En hyppig anvendt kilde er Sathre & O'Connor (2010), som viser at 1 ton kulstof i træprodukter (ikke træ til energi) fortrænger 1-3 ton fossilt kulstof med en medianværdi på 2,1. Der er ikke videnskabelig konsensus om træprodukters substitutionseffekt og alternative bud kan findes i disse kiler (De Rosa et al 2018, Geng et al 2017, Smyth et al 2017, Bentsen et al (2019).

I Madsen & Bentsen (2018) analyserede på en reelt gennemført kraftværkskonvertering fra kul til træ. Det blev fundet, at den umiddelbare udledning fra biomasse var lidt højere (+3,2%) end for kul, altså en fortrængningseffekt på 0.97. Men når kulstofgæld og naturligt forrådnelse af biomassen blev taget med i betragtning var gælden alligevel tilbagebetalt inden for det første år efter konverteringen.

Den støkiometriske CO_2 udledning fra træ er næsten den samme eller lidt over kul, så hvis konverteringen fra kul til træ ikke nedsætter værkets effektivitet vil den direkte udledning være den samme.

Man kan ikke antage, at en bestemt energiressource pr automatik fortrænges af biomasse til energi, hverken kul eller vindenergi. I hvert enkelt tilfælde må man analysere den sammenhæng biomassen kommer til at indgå i, hvor træet kommer fra og hvad der ville være sket med træet hvis det ikke blev brugt til energi. Der en udbredt mangel på empiri ift. spørgsmålet hvad der erstattes. Reelt må man aktuelt forvente at alternativet til biomasse er et mix af kul, naturgas, vandkraft (importeret el), vind og sol. Jo længere vi kigger ud i fremtiden, des mere 'grønt' bliver alternativet til biomasse, men pt har vi ikke en infrastruktur (el lagring, varmelagring, import/eksport af el), der muliggør at fossil kraftvarmeproduktion erstattes udelukkende med vindmøller.

Pt. er det ca. 60% af hugsten, der går direkte til energi og med et skæreudbytte på 47-48% af resten er det ca. 20% der ender direkte i træprodukter (HWP) med en substitutionseffekt på ca. 2 og resten i energi med en gennemsnit på 0.5 (et mix) – vil det være 0,2*2+0,8*0,5=0,8. Hvis biomassen erstatter udelukkende kul vil effekten være 0,2*2+0,8*0,97=1,2.

Substitutionseffekten er afhængig af hvor stor en del af træet der udnyttes til varige produkter (og det kan være andet end tømmer produceret på savværker) og hvilke energikilder det erstatter. Selve begrebet substitutionsfaktorer er stadig i udvikling, idet det afhænger af:

- Afgrænsning af system - fx om der medtages den fulde produktion af materialer (træ, beton, kul, olie, naturgas),
- Tidsrum - fra start af byggeproces til færdigt hus eller den cirkulære tilgang,

- Dynamik - kulstoflager eller energi produktion, virkning på udbud og efterspørgsel af produkter på lokal og global skala.

I nærværende beregningerne er der anvendt en substitutionseffekt på 1. Dette for at holde analysen inden for de givne ressourcemæssige tidsrammer. Substitutions effekter indgår ikke direkte i LULUCF regnskaber.

5.10.2. *Træprodukter (HWP) og LULUCF regnskab*

Den regnskabsmæssige effekt af anvendelse af hugst på LULUCF regnskabet:

- Er afgrænset til den mængde af træprodukter der produceres i Danmark baseret på træ høstet i danske skove.
- Trævarer produceret i Danmark medtages i regnskabet også selvom det eksporteres (gældende fra 2021).
- I det omfang at råtræ høstet til gavntræ i skoven sælges til udenlandske træindustrier vil det ikke indgå i det danske LULUCF regnskab.
- Der anvendes halveringstider for træprodukter i HWP rapportering til LULUCF (35 år for savet træ, 25 år for træplader og 2 år for papir).
- I det omfang at dansk industri anvender udenlandsk produceret træprodukter, påvirker det indirekte det danske LULUCF regnskab i det omfang at anvendelsen reducerer belastning i andre dele af klimaregnskabet (fx gennem mindre forbrug af stål og beton og mindre energiforbrug til transport og byggeri).
- I det omfang at høstet træ fra skovene anvendes til energiproduktion i Danmark vil det indgå i den samlede energiforsyning. Hvad det erstatter kan ikke opgøres i dette notat, men CO2 udledningen bliver rapporteret i skovregnskabet.

Med en reduceret hugst, vil der være et mindsket inflow til HWP delen af LULUCF rapporteringen. Med den nuværende hugst og den aktuelle udnyttelse af dansk høstet gavntræ, fører det til et total inflow af kulstof til HWP puljen på ca. 600 kt CO_2 eq/ år i 2018 (heraf 234 kt CO_2 eq/ år fra savskåret træ og 366 kt CO_2 eq/ år fra træplader). Arealet omfattet af Naturpakken udgør ca. 2 % af det samlede skovareal og ligeledes 2 % af hugsten. Dermed vil inflow reduceres proportionalt med reduktionen i hugsten – altså ca. 12 kt CO_2 eq/ år. Det må dog forventes at den manglende hugst fra Naturpakke arealerne hentes på resten af skovarealet, således at inflow til HWP puljen opretholdes, mens vedmasseopbygning på resten af skovarealet kan blive mindre.

5.10.3. *Muligheder for udbygning:*

Der kunne inddrages analyser af effekten af substitution, herunder effekten af brug af træ til byggeri og energi. Dette ville have været for omfattende at inddrage i den aktuelle analyse, da substitution af stål, beton, kul og gas afhænger af en række forhold som pris, mængder og markedskræfter.

Det vil være vigtigt at følge den faktiske udvikling i hugstudtaget i såvel i omstillingen som efterfølgende.

6. Referencer

Bentsen, N. S., J. R. Jørgensen, I. Stupak, U. Jørgensen and A. Taghizadeh-Toosi (2019). Dynamic sustainability assessment of heat and electricity production based on agricultural crop residues in Denmark. Journal of Cleaner Production 213: 491-507

Buttenschøn, R. M., & Gottlieb, L. (2019). Skovgræsning med biodiversitetsformål. (1 udg.) Frederiksberg: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport. https://static-curis.ku.dk/portal/files/230689434/Skovgr_sning_web_3.pdf

De Rosa, M., M. Pizzol and J. Schmidt (2018). How methodological choices affect LCA climate impact results: the case of structural timber. The International Journal of Life Cycle Assessment 23(1): 147-158.

Ejrnæs, R., Johannsen, V.K. & Heilmann-Clausen, J. (red) 2019. Kortlægning og overvågning af statens udpegninger af urørt skov og anden biodiversitetsskov. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 78 s. – Videnskabelig rapport nr. 328 http://dce2.au.dk/pub/SR328.pdf

Geng, A., H. Yang, J. Chen and Y. Hong (2017). Review of carbon storage function of harvested wood products and the potential of wood substitution in greenhouse gas mitigation. Forest Policy and Economics 85(Part 1): 192-200.

Graudal, L., Nielsen, U.B., Schou, E., Thorsen, B.J., Hansen, J.K., Bentsen, N.S., og Johannsen, V.K. (2013): Muligheder for bæredygtig udvidelse af dansk produceret vedmasse 2010-2100. Perspektiver for skovenes bidrag til grøn omstilling mod en biobaseret økonomi, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, 86 s. ill.

IGN (2018): Kort over IGNs Langsigtede feltforsøg. https://ign.ku.dk/om/kort-over-langsigtede-feltforsoeg/

IPCC (2006): IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Prepared by the National Greenhouse Gas Inventories Programme, Eggleston H.S., Buendia L., Miwa K., Ngara T. and Tanabe K. (eds). Published: IGES, Japan https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/index.html

IPCC (2007): Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K. and Reisinger, A. (Eds.) IPCC, Geneva, Switzerland. pp 104 https://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_ipcc_fourth_assessment_report_synthesis_report.htm

IPCC (2014): 2013 Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds) Published: IPCC, Switzerland. https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/pdf/KP_Supplement_Entire_Report.pdf

Johannsen, V. K., Nielsen, K., Fritzbøger, B., Buchwald, E., Serup, H., Møller, P. F., Schmidt, I.K.; Kepfer Rojas, S.; Nord-Larsen, T. Larsen, J.B. Jørgensen, B.B. Vesterdal, L., Rune, F., Halse, A.Y., Riis-Nielsen, T., Arndal, M. F. (2015). Opgørelsesmetoder og udvikling i dødt ved. (2. udg.) Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport

Johannsen, V. K., Nord-Larsen, T., Bentsen, N. S., & Vesterdal, L. (2019). Danish National Forest Accounting Plan 2021-2030 - resubmission 2019. (1 ed.) Frederiksberg: Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet. IGN Rapport

Kepfer-Rojas, S., Nielsen, TR, Schmidt, IK, Byriel, DB, Justesen, MJ, Nielsen, AO, Knudsen, MA, Johannsen, VK. (2017) Skovstruktur i urørt og forstligt drevet skov. Flora og Fauna 213 (2-4) s. 47-53.

Madsen, K. and S. N. Bentsen (2018). "Carbon Debt Payback Time for a Biomass Fired CHP Plant—A Case Study from Northern Europe." Energies 11(4).

Møller, PF. (2017). Projekt ”Biologisk mangfoldighed i naturskov – en sammenligning mellem østdanske natur- og kulturskove”. Baggrund og formål. Flora og Fauna 213 (2-4) s. 35-46.

Naturstyrelsen (2018): Overordnede retningslinjer for forvaltning af skov til biodiversitetsformål. Miljø- og Fødevareministeriet, Naturstyrelsen, Oktober 2018. 28 pp.

Nord-Larsen T, Johannsen VK, Arndal MF, Riis-Nielsen T, Thomsen IM, Suadicani K & Jørgensen BB (2017): Skove og plantager 2016, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, Frederiksberg. 104 s. ill.

Nord-Larsen, T, Johannsen, VK, Riis-Nielsen, T, Thomsen, IM & Jørgensen, BB 2020, Skovstatistik 2018: Forest statistics 2018 . 2 edn, Institut for Geovidenskab og Naturforvaltning, Københavns Universitet, Frederiksberg.

Nord-Larsen T, Vesterdal L, Bentsen NS og Larsen JB 2019. Ecosystem carbon stocks and their temporal resilience in a semi-natural beech-dominated forest. Forest Ecology and Management 447, 67-76. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.038

Nord-Larsen, T., Riis-Nielsen, T., & Ottosen, M. B. (2017). Forest resource map of Denmark: Mapping of Danish forest resource using ALS from 2014-2015. Department of Geosciences and Natural Resource Management, University of Copenhagen. IGN Report.

Pauer, G. (2016). Modelling carbon stocks of unharvested European beech forests as a baseline for calculating carbon parity times. MSc thesis, EnvEuro programme. 45 s.

Sathre, R. and J. O'Connor (2010). Meta-analysis of greenhouse gas displacement factors of wood product substitution. Environmental Science & Policy 13(2): 104-114

Schumacher, J, & Nord-Larsen, T (2014): Wall-to-wall tree type classification using airborne lidar data and CIR images. International Journal of Remote Sensing, 35(9), 3057-3073. https://doi.org/10.1080/01431161.2014.894670

Skov- og Naturstyrelsen (2005): Handlingsplan for naturnær skovdrift i statsskovene. Miljøministeriet, 60 pp.

Smyth, C., G. Rampley, T. C. Lemprière, O. Schwab and W. A. Kurz (2017). Estimating product and energy substitution benefits in national-scale mitigation analyses for Canada. GCB Bioenergy 9(6): 1071-1084.

7. Bilag

Udvikling i levende kulstofpulje – 3 scenarier – maksimal vedmasseudvikling

Tabel 11 Scenarie 1 – jf. retningslinjer for omstilling – aktuel vedmasseniveau

Anden bio	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	157	2	50	17	-	0
2027	164	2	44	16	0	1
2037	170	2	44	14	0	4
2057	187	2	31	12	0	7
2077	192	2	23	10	1	11
2097	192	1	26	13	1	17
2117	198	1	28	14	1	21
2217	185	1	28	9	1	21
Urørt løv	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	350	2	97	31	-	0
2027	370	3	30	1	0	5
2037	380	2	35	2	1	10
2057	409	3	36	3	1	14
2077	431	3	38	4	2	19
2097	439	3	44	6	2	29
2117	448	3	48	7	3	36
2217	440	3	33	7	3	36
Urørt nål	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	27	0	72	31	-	0
2027	33	0	77	35	0	0
2037	40	1	78	34	0	1
2057	47	1	30	4	0	11
2077	50	1	27	4	0	11
2097	61	1	33	7	0	22
2117	60	1	35	9	1	28
2217	41	1	39	13	1	41

Tabel 12 Scenarie 1 – jf. retningslinjer for omstilling – maksimal vedmasseniveuea

Anden bio	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	157	2	50	17	-	0
2027	164	2	44	16	0	1
2037	208	3	56	18	0	9
2057	283	3	47	16	0	17
2077	290	3	34	12	1	20
2097	314	3	44	13	1	27
2117	326	5	44	13	1	27
2217	331	5	44	13	1	27
urørtløv	løvhjem	løveksot	nåleuro	nåleksot	uku	
2017	350	2	97	31	-	0
2027	370	3	30	1	0	5
2037	470	3	50	5	1	23
2057	648	6	64	7	1	34
2077	757	6	67	7	2	35
2097	862	5	75	10	2	47
2117	920	8	75	10	3	47
2217	972	8	80	10	3	47
urørtnål	løvhjem	løveksot	nåleuro	nåleksot	uku	
2017	27	0	72	31	-	0
2027	33	0	77	35	0	0
2037	40	1	79	35	0	3
2057	47	1	36	9	0	27
2077	66	1	48	13	0	41
2097	86	1	65	18	0	54
2117	87	1	71	18	1	54
2217	87	1	71	18	1	55

Tabel 13 Scenarie 1 mere nål i omstillingen

Anden bio	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	157	2	50	17	-	0
2027	164	2	45	17	0	1
2037	208	3	57	18	0	9
2057	283	3	47	16	0	17
2077	290	3	34	10	1	20
2097	314	3	34	7	1	28
2117	326	5	39	6	1	29
2217	331	5	39	6	1	29
Urørt løv	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	350	2	97	31	-	0
2027	370	3	56	1	0	4
2037	470	3	83	5	1	18
2057	648	6	102	7	1	26
2077	757	6	109	7	2	27
2097	862	5	117	10	2	36
2117	920	8	116	10	3	36
2217	972	8	113	10	3	39
Urørt nål	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	27	0	72	31	-	0
2027	33	0	77	35	0	0
2037	40	1	79	35	0	3
2057	47	1	62	13	0	17
2077	66	1	65	14	0	33
2097	86	1	82	19	0	44
2117	87	1	88	19	1	44
2217	87	1	95	19	1	44

Tabel 14Scenarie 3 Hugststop

Anden bio	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	157	2	50	17	-	0
2027	204	3	74	24	0	0
2037	249	3	94	27	0	0
2057	297	4	96	28	0	0
2077	297	4	94	28	1	1
2097	318	3	100	28	1	1
2117	328	5	100	29	1	1
2217	331	5	104	29	1	1
Urørt løv	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	350	2	97	31	-	0
2027	466	4	145	45	0	0
2037	570	5	182	55	1	1
2057	743	7	199	59	1	1
2077	807	7	205	57	2	2
2097	879	5	203	54	2	2
2117	930	8	203	56	3	3
2217	972	8	215	59	3	3
Urørt nål	Løv hjem	Løv eksot	Nål euro	Nål eksot	uku	Heraf på lysåbne arealer
2017	27	0	72	31	-	0
2027	45	1	107	48	0	0
2037	67	1	131	54	0	0
2057	83	1	137	57	0	0
2077	83	1	134	59	0	0
2097	87	1	142	69	0	0
2117	87	1	144	69	1	1
2217	87	1	147	70	1	1

Tabel 15 Observerede vedmasseniveauer for de forskellige klasser af træarter efter aldersklasser på Naturstyrelsens arealer 2017. Brugt til reference beregning og til scenarie 1a – lav vedmasseniveau.

Aldersklasse - vedmasse m^3/ha	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	105	115	125	135	145	155	165	175	185	195
Anden biodiversitetsskov																				
Løvtræer, hjemmehørende	48	82	142	143	163	194	227	241	239	254	266	310	307	338	245	265	254	377	267	268
Løvtræer, ej hjemmehørende	0	126	126	126	51	51	145	162	200	156	240	150	150	150	150	150	122	122	122	122
Nåletræer, europæiske	117	43	113	181	227	318	357	282	295	281	315	354	283	155	183	388	388	284	284	284
Nåletræer, eksotisk	84	58	120	230	275	422	468	451	450	510	785	709	568	165	534	309	309	309	309	309
Urørt løvskov																				
Løvtræer, hjemmehørende	85	62	154	218	181	190	219	231	249	238	268	303	305	287	262	266	299	300	308	282
Løvtræer, ej hjemmehørende	0	32	39	39	123	343	162	151	192	137	159	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Nåletræer, europæiske	105	58	113	204	236	320	386	354	358	281	295	317	338	343	348	386	341	284	353	156
Nåletræer, eksotisk	61	52	108	247	316	368	429	408	449	439	677	710	561	579	280	383	383	383	383	383
Urørt nåleskov																				
Løvtræer, hjemmehørende	94	9	38	104	127	130	125	90	137	204	289	218	220	372	360	381	393	338	187	188
Løvtræer, ej hjemmehørende	0	0	0	49	49	168	139	168	227	227	227	227	227	227	227	227	227	227	227	227
Nåletræer, europæiske	71	16	56	127	159	212	223	237	234	235	241	178	198	188	186	192	286	262	180	180
Nåletræer, eksotisk	45	22	69	142	215	247	253	287	256	192	166	172	166	187	195	110	195	195	195	195

KØBENHAVNS UNIVERSITET
INSTITUT FOR GEOVIDENSKAB OG NATURFORVALTNING

Miljø- og Fødevareministeriet
Att. Pernille Karlog

BILAG - SAGSNOTAT

26. FEBRUAR 2020

SKOV, NATUR OG BIOMASSE

ROLIGHEDSVEJ 23, 1958
FREDERIKSBERG C

TLF 35331699
DIR
MOB 20300969

VKJ@IGN.KU.DK
www.ign.ku.dk

REF: VKJ

Vedr. Spørgsmål til notat: Klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov af 8.2.2019

Sagsbehandler Vivian Kvist Johannsen

I det følgende samles svar på de direkte spørgsmål fremsat i bestillingen fremsendt 13.1.2020 i forhold vedr. sagsnotat om klimaeffekter af urørt skov og anden biodiversitetsskov af 8. februar 2019. Hovedproduktet er det reviderede notat, som der også henvises til i svar på spørgsmålene.

NP1: Udbygning af notatet med en kort gennemgang af eksisterende viden i Danmark og udlandet om skovforvaltningens betydning for kulstofoptag og –udledning i og fra jorden, herunder effekter af renafdrifter, tyndinger, ophør af hugst, græsning og ændret hydrologi (fx ophør af dræning).

Svar:

En gennemgang af eksisterende viden kan ikke nås inden for rammen. Det antages at dette punkt kun omhandler CO2 som gas og kulstof i jordpuljerne. Tekst er ændret lidt i afsnit 5.8.

NP2: Udbygning af notatet med en kort gennemgang af eksisterende viden i Danmark og udlandet om skovforvaltningens betydning for optag og udledning og nedbrydning over tid af andre drivhusgasser end CO2 (metan og lattergas) – samt indregning af effekten af nedbrydning i akkumulerede tal (så kun den tilbageværende ikke-nedbrudte mængde af fx metan medtælles, jf. også metodikken for HWP).

Svar:

En gennemgang af eksisterende viden kan ikke nås inden for rammen. Dette punkt omhandler kun metan og lattergas. Der anvendes i IPCC den samme emissionsfaktor for alle arealer hvor der genskabes naturlig hydrologi. Effekt ift. Nedbrydning er delvist indregnet i GWP faktorerne. Tekst revideret i afsnit 5.8.

NP3: Direkte indregning af forventede effekter i jordpuljen (SOM) i de undersøgte scenarier (ligesom det gøres i SAGSNOTAT om kulstofbinding ved skovrejsning). Alternativt (hvis scenarierne ikke kan udbygges med dette), at der indsættes et generelt tekstafsnit om problematikken og angives skøn for, hvordan og i hvilken skala indregning af disse må formodes at påvirke de samlede effekter.

Svar:

Der er allerede et afsnit i notatet om kulstof i jordpuljen – (s. 16 oprindeligt notat – afsnit 5.8 i ny version):
" Der er ikke medregnet effekter på jordbundens indhold af kulstof, men der er brugt standard faktorer jf. Johannsen et al. (2018). Ved udtagning af landbrugsjorde fra almindelig drift til fx permanent græs, reduceres CO2 udledningen fra den hyppige jordbearbejdning. Tilsvarende effekter er der ikke i skov, da jordbearbejdningen i referencetilstanden (naturnær skovdrift) er minimal."
Der henvises også til artiklen Nord-Larsen et al. 2019. Ecosystem carbon stocks and their temporal resilience in a semi-natural beech-dominated forest https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.038
En gennemgang af litteratur er ikke inden for denne ramme. Tekst revideret i afsnit 5.8.

NP4: Tilføjelse af et ekstra scenarie, hvor de udlagte arealer lades helt urørt, dvs. ved øjeblikkeligt stop for al hugst, herunder naturpleje/biodiversitets-mæssigt begrundet hugst, stop for vedligeholdelse af tidligere dræn og undladelse af ny dræning, ingen veteranisering samt undladelse af bevidst ændring i græsningstryk mv.

Svar:

Der er tale om en genberegning hvor aktiv hugst ophører umiddelbart. Der vil dog blive taget udgangspunkt i status før Naturpakken. Dvs. de tiltag, der allerede er gennemført (2017-2019), kan ikke inddrages. Der er tilføjet et Scenarie 3.

I forbindelse med udarbejdelse af Scenarie 3 blev der også indført et nyt scenarie 1b hvor der som udgangspunkt er højere vedmasseniveauer for bevoksede arealer. Teksten er udbygget i afsnit 5.4.2 inkl. Figurer og tabeller.

NP5: Uddybet redegørelse om den forventede maksimale kulstofophobning i urørt skov på arealer, der ikke holdes kunstigt lysåbne (ved slutningen af den gennemregnede periode, dvs. år 2200), herunder ved direkte sammenligning med kendte niveauer i Danmark som fx Suserup skov og en begrundelse for eventuelle afvigelser herfra i de opstillede scenarier.

Svar:

I 2019 versionen af notatet blev det antaget at det bevoksede areal gennemsnitligt opnår samme vedmasseniveau som de ældste aldersklasser på Naturstyrelsens arealer inden for de udlagte arealer. Dette beskrevet s. 11 i notatet "men antages at aktuel registrering af vedmasse pr. ha ved forskellige aldersklasser samlet repræsenterer effekt af tilvækst og mortalitet (herunder hugst)." Dette var den forenklede fremgangsmåde der var i direkte forlængelse af arbejdet med reference niveau for de danske skove. Vedmassen i de ældste aldersklasser på NSTs arealer er lavere end den observerede vedmasse i bl.a. Suserup. I Bilag 7, tabel 14 fremgår de vedmasser, der er observeret på Naturpakkearealerne og som ligger til grund for fremskrivningerne med lave vedmasseniveauer.

Der er brug for data for, hvorledes de mange forskellige arealer, der udlægges til urørt skov, udvikler sig, herunder hvordan mortalitet, stormfald og foryngelse udvikler sig over tid.

I revisionen er der indarbejdet nye vedmasseniveauer, jf. beskrivelsen i afsnit 5.4.2. Dermed angiver scenarie 1a og 1b en enkelt følsomhedsberegning for vedmasseudviklingen.

NP6: Brug af positive værdier for optag af CO2 eq (CO2 og øvrige drivhusgasser) og negative for udledninger (følgende samme model som i SAGSNOTAT for kulstofbinding ved skovrejsning).

Svar:

I forhold til LULUCF rapportering så er optag i skov (der resulterer i en nedgang i atmosfærens kulstoflager) angivet ved negative værdier, mens udledninger er positive, da man i rapporteringen har fokus på atmosfærens kulstoflager. Det er korrekt, at skovrejsningsnotatet anvender den omvendte syntaks. Det er blot vigtigt at læsere er

opmærksom på forskellene ved sammenligning med fx rapporteringstal. Der er ikke ændret på noteringen i notatet.

NP7: Ordliste med anvendte definitioner, herunder af "klimaeffekt", "skoves klimaeffekt", "binding", "optag", "lagre", "drivhusgasser" og "substitutionseffekt" samt akronymer som AG, BG, DW, FF, SOM og CO2 eq.

Svar:

Der er indsat en liste over forkortelser i afsnit 5.1.

NP8: Skøn over det løbende hugstudtags fordeling på HWP og øvrig anvendelse, og HWP-andelens bidrag til opbygningen af kulstoflageret, afskrevet efter sædvanlige principper for halveringstider (og gerne indregnet direkte i tabellerne). Rationale: I forskellige sammenhænge kan der være ønske om at se på effekten alene ift. LULUCF-regnskabet, og heri indgår HWP-bidraget, men ikke resten af hugsten.

Svar:

Der er revideret i teksten i afsnit om høstede produkter (5.10) og afsnit 5.10.2 adresserer specifikt LULUCF regnskaber.

NP9: Følsomhedsberegninger ved anvendelse af justerede substitutionsfaktorer (eksempler på påvirkning).

Svar:

Substitutionsfaktorer er stadig under udvikling og der er teksten 5.10.1 indsat ekstra forklaringer. Der kan ikke gennemføres følsomhedsberegninger inden for tidsrammen.

NP10: Reflektioner over, i hvilket omfang substitutionseffekter under de gældende regler vil kunne forventes at blive afspejlet i Danmarks klimaregnskab, i udlandets eller ingen af delene (udarbejdes af KU/IGN og evt. efter høring i KEFM efterfølgende).

Svar:

Der er revideret i teksten i afsnit om høstede produkter (5.10) og afsnit 5.10.2 adresserer specifikt LULUCF regnskaber.

NP11: Kort redegørelse for, i hvilket omfang de angivne klimaeffekter vil kunne bogføres under Danmarks LULUCF-regnskab under gældende regler.

Svar:

Helt grundlæggende indgår disse skovarealer på lige linje med resten af skovarealet i Danmark i LULUCF regnskabet. I det omfang at ændret forvaltning påvirker kulstofpuljer ved afvigelse fra referencen vil det påvirke den samlede rapportering. Dette ligger som et grundlag for hele notatet. Det analyserede areal udgør under 3 pct. af det samlede skovareal.

Der er revideret i teksten i afsnit om høstede produkter (5.10) og afsnit 5.10.2 adresserer specifikt LULUCF regnskaber.

NP12: Specifikation i relevante scenarier af kulstofbindingen i jord (SOM) og de fire andre puljer (AG, BG, DW, FF).

Svar:

Puljerne for DW, FF og jordbund er ens i alle scenarier undtaget BAU hvor DW puljen antages konstant. Der er beskrivelser i afsnit 5.6-5.8 inkl. tabeller. I bilag 1 tabel 10-12 er der angivet detaljerede data for udviklingen af kulstof i AG puljen. BG puljen beregnes i alle scenarier som 20 % af AG puljen. Alle data er givet i regnearket.

NP13: Afsnit med kildereferencer.

Svar:

Der var allerede et fuldt afsnit med referencer. Dette er opdateret med enkelte ekstra referencer.

NP14: Yderligere specifikation (underopdeling) i de eksisterende scenarier af, hvordan kulstoflagringen (og evt. også de øvrige klimaeffekter) vil være på hhv. de ”Lysåbne arealer” og de øvrige arealer. Rationale: Det vil være nyttigt at kunne se direkte i tabellen/tabellerne, hvor meget kulstof, der antages lagret over tid i de to arealkategorier.

Svar:

Kulstofpuljernes udvikling er sammenfattende beskrevet i afsnit 5.5. I bilag 1 er der i tabel 10-13 opdeling af kulstoflager i hovedtyperne af arealer.

NP15: Tilføjelse af yderligere et eller flere scenarier med et andet udgangspunkt (andre typer, sammensætninger og/eller aldre af

bevoksninger) *eller* en tekstmæssigt refleksion over følsomheden overfor dette.

Svar:

Der er allerede bestilt et scenarie for umiddelbart ophør af hugst – jf pkt 4 ovenfor.
Som udgangspunkt er taget arealerne omfattet af Naturpakken. Der har ikke været tid til valg af et alternativt areal. Mange principielle forhold vil være lig arealer omfattet af Naturpakken, men udgangspunkt og evt. BAU vil variere.

NP16: Separate følsomhedsberegninger for omfanget af tiltag som øget vandstand, græsning og lysningshugster.

Svar:

Øget vandstand: Der er i notatet regnet på effekt af følgende:
"Areal med grøfter i de udlagte arealer reduceres fra 2,5 % til 1 %. Andel af drænet organisk jord reduceres fra 50 % til 10 %, idet der forventes at være behov for afvanding på meget få arealer." Reelt er der en følsomhedsanalyse i sammenligningen med referencen hvor der ikke antages ændringer i vandstand (afsnit 5.7).
Græsning: Der er i notatet regnet på følgende effekt: "Skovgræsning forventes, som gennemsnitsbetragtning, at foregå på de arealer der er udlagt til naturlig succession. Der er i beregningerne af klimaeffekter derfor ikke udlagt yderligere arealer til græsning og der indregnes ikke effekter på jordbundens indhold af kulstof. Der er ikke indregnet effekt af dyr i opgørelsen." En mulig følsomhed ved mindre græsning kunne være højere vedmasseniveauer på arealer udlagt til naturlig tilgroning. Effekt af et højere græsningstryk kunne være et lavere vedmasseniveau. Der er ikke regnet særskilt på disse forhold. (afsnit 5.9).
Lysningshugster: følsomheden kan ses ved beregning af umiddelbart ophør af hugst (scenarie 3) i sammenligning med scenarie 1.

NP17: Generel justering af tal og beregninger i det omfang ovenstående måtte give anledning til det.

Svar:

Dette blev opfattet som hovedproduktet i bestillingen.

NP18: Redegørelse for, i hvilket omfang de forskellige i selve sagsnotatet påpegede "muligheder for udbygning", som ikke måtte være inkluderet i punkterne ovenfor og ikke medtages i opdateret/ny version, kan forventes yderligere belyst som led IGN's ydelser på ydelsesaftalen for 2020.

Svar:

Der er i IGN's arbejdsprogram for 2020 planlagt følgende opgaver der har relevans for kulstofopgørelser og prognoser. Der er udelukkende afsat lønmidler til projekterne der har forskellig karakter.

Nr. 3 "Evaluering af skovdyrkningssystemers bidrag til kulstoflagring og- optag - fra ensaldrende skovdrift, naturnær skovdrift til biodiversitetsskov." Fokus på vækstmodeller og skovdyrkningssystemer ift. kulstof. – (3 VIPs + 3 VIPj + 2 TAP mandmåneder)

Nr. 9 "Skovrejsningsvirkemidler" – med fokus på klima, kvælstof og biodiversitet. (3 VIPs + 3 VIPj mandmåneder)

Nr. 25 " Rådgivning om forbedrede tilvækstmodeller i skovforvaltningen" – vedmasse, økonomi og kulstof (2 VIPs mandmåneder)

Nr. 27 " Øget kulstofoptag og lagring i skov" – målet er at starte et projekt der "belyser forskellige forvaltningssystemers indflydelse på biodiversitet samt kulstofoptag og lagring i skov og træer". Samarbejde med IFRO. (2 VIPs + 2 VIPj mandmåneder)

Nr. 29 " Træstrømme og bæredygtighed" – indledende afklaring og muligheder for ansøgning om midler til større projekt (2 VIPs + 1 VIPj mandmåned)

De enkelte projekter har lidt forskellige vinkler, men vil bidrage til en samlet viden opsamling. Projekterne vil være baseret på litteraturstudier og analyser af eksisterende data, idet der ikke er afsat midler til ekstra dataindsamling. Indsatsen er begrænset til korte forløb.

Der er flere'muligheder for udbygning' der forudsætter ekstra dataindsamling. Dette gælder særligt ift. lattergas og metan samt udviklingen i jordens kulstoflager. Disse muligheder for udbygning kan ikke umiddelbart dækkes af arbejdsprogrammet.

Projektet om træstrømme er til indledende analyser med det formål at få afklaring og søge om midler til et egentlig projekt, der kan bidrage til at dokumentere træstrømme i Danmark (produktion, import/eksport, anvendelse og genanvendelse). Der er ikke afsat særskilte midler til HWP analyser.

Der er sat et projekt i gang under LBST (uden for IGN's arbejdsprogram), der ser på lavbundsjorde, men i det projekt er der ikke medtaget skovrejsning. Dette projekt løber over 3 år.

Samlet:
Nogle af spørgsmålene der er rejst i nærværende vil kunne belyses som elementer af resultaterne under arbejdsprogrammet. Der vil fortsat være spørgsmål, der kræver nye data og længere observationsperioder og egentlige projekter.
Der vil være brug for en koordinering dels mellem opgaverne og dels med MFVM's forskellige enheder.