



Foto: Mathias Tjøtta Odden, Oslo kommune

Oslo Kommune - Klimaetaten

Kommunal modell for produksjon og bruk av biokull i Oslo

Dokumentnummer A299931-COWI-Z-0001 rev. C
Total sider: 101

Kommunal modell for produksjon og bruk av biokull i Oslo

Prosjekt Nr.	Dokument nr.				
A299931	A299931-COWI-Z-0001				
Versjon	Dokumentdato	Begrunnelse for utgivelse	Utarbeidet	Kontrollert	Godkjent
A	27.03.2026	INFO	TMEH/MMES/ERJO/ AJNI/LDBT/MMGR	OMMO	
B	21.05.2026	INFO	TMEH/MMES/ERJO/ AJNI/LDBT/MMGR	OMMO	TNEN
C	30.07.2026	INFO	TMEH/MMES/ERJO/ AJNI/LDBT/MMGR	LDBT	OMMO

1 Beslutningsgrunnlag for godkjenning

Denne rapporten vurderer om Oslo kommune kan etablere en kommunal modell for produksjon og bruk av biokull basert på egne organiske avfallsressurser, særlig avløpsslam, vannverkslam, trevirke og hage- og parkavfall. Hovedfunnet er at kommunen har betydelige teoretiske avfallsressurser og et reelt klimapotensial, men at valg av avfallsressurser har stor betydning for teknisk gjennomførbarhet, regelverk, markedsmuligheter og samfunnsøkonomisk lønnsomhet. Rapporten estimerer et samlet potensial for karbonlagring på om lag 20 000–29 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år dersom alle kartlagte organiske avfallsressurser utnyttes, men peker samtidig på at det vil være krevende å finne anvendelse for hele biokullvolumet uten et tydelig marked og forankret intern bruk.

Trebasert biokull fremstår som det mest modne og robuste alternativet. Biokull produsert av trevirke og hage- og parkavfall har de best dokumenterte egenskapene, størst karbonlagringspotensial, bredest bruksområde og best mulighet for sertifisering og eventuell omsetning i markedet. Samfunnsøkonomisk kommer dette scenarioet best ut i rapportens hovedanalyse. Slambaserte løsninger er prinsipielt interessante fordi de styrker sirkulær ressursutnyttelse og kan redusere framtidige kostnader til slamhåndtering, men de har større tekniske og juridiske barrierer. Pyrolysert avløpsslam vil fortsatt i hovedsak reguleres som slam, og oppkonsentrering av særlig sink gjør at bruken kan bli begrenset, ofte til grøntanlegg eller særskilte tekniske formål etter søknad. Rapporten understreker også at slambiomasse fortsatt har usikre markedsmuligheter og mindre dokumenterte produktegenskaper enn trebasert biokull.

For en beslutning om godkjenning er rapportens viktigste anbefaling at Oslo kommune ikke bør gå videre til større investeringer i biokullproduksjon uten å avklare tre forhold: 1) konkrete og forpliktende bruksområder for biokullet i kommunal drift eller eksternt marked, 2) hvordan overskuddsvarme og energibehov skal håndteres gjennom god lokalisering og energiintegrasjon, og 3) hvordan regelverk, produktklassifisering og sikker håndtering skal ivaretas. Som strategisk retning peker rapporten tydelig på at et trebasert spor bør prioriteres først, eventuelt som et første trinn i en Oslo-modell. Slambaserte løsninger bør videreutvikles trinnvis gjennom piloter og dokumentasjon, særlig knyttet til renseformål, teknisk bruk og markedsaksept. Min samlede vurdering er derfor at rapporten gir et godt faglig grunnlag for å støtte videre arbeid med biokull, men med en trinnvis tilnærming der trebasert biokull prioriteres som første gjennomførbare løsning.

Revisjonshistorikk

Revisjon	Endringsbeskrivelse
A	Foreløpig utgave for diskusjon
B	Endelig rapport for kommentar
C	Endelig rapport

Endringslogg

Seksjon	Endring
---------	---------

Innhold

1	Beslutningsgrunnlag for godkjenning	3
	Sammendrag	7
2	Forkortelser	10
3	Innledning	11
4	Kartlegging av avfallsressurser og dagens bruk av biokull	12
4.1	Mengder og type avfallsressurser.....	12
4.2	Forbehandling av mulige avfallsressurser før pyrolyse	18
4.3	Teknisk vurdering av ulike avfallsressurser	19
4.4	Bruk av biokull som klimatiltak	20
5	Produksjon av biokull	23
5.1	Generell innføring i pyrolyseteknologier	23
5.2	Pyrolyseleverandører – status	34
5.3	Pyrolyseprosesser for ulike avfallsressurser	35
5.4	Pyrolysetemperatur for ulike produktkategorier og bruk	38
6	Muligheter for bruk av biokull	39
6.1	Bruksområder	39
6.2	Karbonlagringseffekter	45
7	Juridiske og tekniske barrierer	46
7.1	Juridiske barrierer	46
7.2	Tekniske barrierer	50
7.3	Sikkerhetsbarrierer	54
7.4	Oppsummering	55
8	Samfunnsøkonomisk vurdering	56
8.1	Problem, mål og mulige gevinster og barrierer	56
8.2	Metode og forutsetninger for beregning av prissatte virkninger	58
8.3	Samfunnsøkonomisk vurdering av potensialet, basert på mengder	62
8.4	Samfunnsøkonomisk vurdering av potensialet, basert på bruksområder og markedsmuligheter	65
8.5	Forutsetninger for vellykket gjennomføring og samlet vurdering	67
9	Konklusjon og anbefaling	69
9.1	Anbefaling	71
10	Referanseliste	73
	Vedlegg I Råvarer EBC-biokull.....	78
	Vedlegg II Grenseverdier for sertifisert biokull	81
	Vedlegg III: Spørsmålsskjema.....	83
	Vedlegg IV: Oppsummering av alle svar	87
	VAV – Bekkelaget renseanlegg	87

VAV – vannverkslam OSET	90
BYM - Avd. Skog og landskap	91
BYM - Park og byrom	93
BYM- Idrett	95
REG - Oslo kommune, Renovasjons- og gjenvinningsetaten	96
GPE - Gravplassetaten	98
OBF - OsloBygg	100

Sammendrag

Innledning og bakgrunn

Oslo kommune, ved Vann- og avløpsetaten og Klimaetaten, utreder muligheten for å utnytte kommunale organiske restressurser til produksjon av biokull med formål om karbonlagring. Det vurderes om en slik verdikjede på sikt kan inngå i kommunens klimaregnskap, samt inngå i en mulig «Oslo-modell» for produksjon og bruk av biokull.

Rapporten er basert på en spørreundersøkelse gjennomført blant ulike etater i Oslo, med mål om å kartlegge årlige mengder avfallsressurser som kan egne seg som råstoff for produksjon av biokull. De kartlagte fraksjonene omfatter rivningsvirke, rent trevirke, hage- og parkavfall, avløpsslam fra Bekkelaget renseanlegg samt vannverkslam fra Oset vannbehandlingsanlegg. Matavfall er ikke inkludert.

Hva er biokull?

Biokull produseres ved pyrolyse, en termokjemisk prosess der organisk materiale omdannes ved høy temperatur under oksygenfattige betingelser. Organisk materiale uttrykkes ofte som flyktig tørrstoff (VS), oppgitt som prosent av tørrstoffet. Pyrolyse gir tre hovedprodukter: biokull, pyrolysegass og pyrolyseolje. Biokull består hovedsakelig av karbon, men inneholder også en andel aske fra uorganiske stoffer som ikke brytes ned i prosessen eller fjernes med avgassen. Pyrolysegass består av brennbare gasser som karbonmonoksid, hydrogen og metan, mens pyrolyseolje består av oljelignende forbindelser. Pyrolysegass og pyrolyseolje kan utnyttes til energiproduksjon eller til produksjon av kjemikalier, for eksempel drivstoff.

Pyrolyse krever normalt energi ved oppstart, men kan i mange tilfeller delvis bli energimessig selvforsynt ved at pyrolysegass / pyrolyseolje utnyttes som energikilder. Overskuddsvarme kan benyttes til fjernvarme eller tørking av fuktige biomasser som avløpsslam. For å få full energiutnyttelse fra et pyrolyseanlegg bør man utnytte overskuddsenergien.

Egenskaper og bruk av biokull

Biokull har flere anvendelser som forbedring av jordas vannholdingsevne, øke jordas evne til å holde på plantenæringsstoffer, samt binding av enkelte forurensningsstoffer. I tillegg til disse positive egenskapene vil biokull kunne anses som karbonlagring ved riktig bruk. Organiske miljøgifter brytes i hovedsak ned under pyrolyse, mens tungmetaller i stor grad blir igjen i produktet, selv om enkelte flyktige metaller kan overføres til avgass. Biokull kan også brukes som tilslag i betong, særlig i lett- og isolasjonsbetonger, og kan bidra til redusert karbonfotavtrykk og bedre isolerende egenskaper.

Egenskapene til biokull avhenger av råstoffet som pyrolyseres og av selve pyrolyseprosessen, blant annet temperatur og oppholdstid. Trevirke gir normalt et mer stabilt karbonprodukt enn avløpsslam og vannverkslam, blant annet på grunn av høyt innhold av lignin. Biokull basert på avløpsslam er underlagt strengere reguleringer knyttet til tungmetaller, fosfor og bruksmengde enn trebasert biokull.

Produksjon av biokull, muligheter og utfordringer

Det finnes flere leverandører med kommersielt moden pyrolyseteknologi og referanseanlegg. De fleste løsningene er utviklet for trebaserte råstoffer, men det finnes også teknologi tilpasset pyrolyse av avløpsslam, der tørking normalt inngår som en integrert del av prosessen. Det er ikke kjent at det finnes nøkkelferdige fullskalaanlegg utviklet for pyrolyse av blandinger av ulike organiske avfallsressurser.

Produksjon av biokull krever forbehandling som sortering, kverning og tørking, og i enkelte tilfeller pelletering. Etterbehandling er viktig for sikker håndtering og funksjonelle egenskaper, inkludert nedkjøling for å hindre selvantennning samt reduksjon av støv. Biokull til vannrensing, herunder avløpsvann, kan kreve aktivering, mens biokull til jordforbedring ofte må lades med næringsstoffer.

Kartlegging av kommunale ressursstrømmer viser et betydelig potensial for biokullproduksjon, men bruksbegrensninger for slambasert biokull representerer en utfordring. Det er betydelige grøntarealer i Oslo hvor biokull kan brukes i forbindelse med nyanlegg og skjøtsel, men det finnes ikke en samlet oversikt over behovet. Ut fra kartleggingen og intervju med Bymiljøetaten er det anslått at bruken kan være 950 tonn biokull per år. Dersom pyrolysert slam og trevirke fungerer som adsorpsjonsmateriale for å oppnå krav til

kvaltærrensing i kommende avløpsregelverk, kan det være behov for om lag 2 500 tonn slambiomkull årlig ved Bekkelaget renseanlegg. Kvaltærrensing omfatter avansert rensing av organiske miljøgifter, særlig legemiddelrester og utvalgte organiske mikroforurensninger.

Dersom biokull sertifiseres, kan det gi mulighet for salg av karbonkreditter i det frivillige markedet. Prisen for slike kreditter avhenger av verifisert sporbarhet fra produksjon til bruk, og av mengden stabilt karbon i biokullet som faktisk lagres. Det er estimert at dersom alle kartlagte organiske avfallsressurser benyttes til produksjon av biokull, er potensialet for karbonlagring mellom 20 000 og 29 000 tonn CO₂-ekvivalenter årlig, basert på sjablongverdier. En utfordring kan være å finne avsetning for om lag 13 000 tonn biokull per år. Flere av avfallsstrømmene inngår i dag i eksisterende verdikjeder og bruksområder, og endret behandling vil derfor kunne påvirke verdikjeder som allerede har positiv verdi.

Samfunnsøkonomisk vurdering

For å bryte potensialet ned, er det i den samfunnsøkonomiske vurderingen analysert tre scenarier:

- Scenario 1 – pyrolyse av kun utråtnet avløpsslam og vannverkslam
- Scenario 2 – pyrolyse av en blanding av avfallstrevirke, avløpsslam og vannverkslam
- Scenario 3 – pyrolyse av avfallstrevirke og hage- og parkavfall

Samlet sett peker analysen på at scenario 3 med trebasert biokull fremstår som det beste alternativet, gitt de forutsetningene som er lagt til grunn. Samtidig kan den samfunnsøkonomiske nytten av scenariene med slambiomkull øke dersom det utvikles egnede anvendelser og et marked for denne typen biokull.

Konklusjon og anbefaling

Biokull produsert ved pyrolyse av avløpsslam vil normalt fortsatt omfattes av regelverket for gjødselvarer som inneholder avløpsslam. Dette innebærer at rent slambiomkull har begrensede bruksområder og i hovedsak er aktuelt for grøntanlegg og andre anvendelser der regelverket tillater bruk. Sammenlignet med trebasert biokull er bruksegenskapene mindre dokumentert, og det er fortsatt usikkerhet knyttet til anvendelser som rensemedium for overvann, overvannshåndtering og rensing av miljøgifter og legemiddelrester i kvaltærrensetrinn.

Dersom avløpsslam pyrolyseres sammen med andre avfallsressurser, vil de særskilte bruksrestriksjonene for avløpsslam normalt fortsatt gjelde. En innblanding av trevirke eller hage- og parkavfall til slam før pyrolyse vil redusere tungmetallkonsentrasjonene i biokullet, øke karboninnholdet og gi flere anvendelsesmuligheter. Det er imidlertid foreløpig ikke dokumentert at slike blandinger gir vesentlig forbedrede egenskaper for alle aktuelle bruksområder.

Trebasert biokull har det klart største markeds- og anvendelsespotensialet. Det har dokumenterte bruksområder innen jordforbedring, vekstmedier og undergrunnsjord, og kan i større grad sertifiseres og omsettes uten vesentlige restriksjoner. Ved bruk i jord bør biokullet normalt lades med næringsstoffer for å redusere risikoen for midlertidig nitrogenbinding. Dersom biokull skal utvikles som adsorpsjonsmateriale for vann- og avløpsrensing, vil det være behov for videre produktutvikling. Foreløpige resultater er lovende, særlig for trebasert biokull kombinert med oksidasjonsprosesser i kvaltærrensing.

Karbonlagring og karbonkreditter er i dag mest aktuelt for biokull produsert av trevirke og hage- og parkavfall. For å få lønnsomhet knyttet til karbonfjerning vil man være avhengig av anerkjente sertifiseringsordninger, som EBC eller Puro.earth, hvor sporbarhet og dokumentert kvalitet er avgjørende for verdien av karbonkredittene. Internasjonalt kan det finnes markeder for slambiomkull, men slike markeder er foreløpig ikke etablert i Norge.

Dersom det ikke etableres markeder eller andre interne nedstrømsløsninger for biokullet, vil pyrolyse av avløpsslam i praksis i hovedsak fungere som avfallsbehandling ved å redusere slammengden og destruere organiske miljøgifter, snarere enn å bidra til sirkulær materialutnyttelse. Samtidig går nitrogenet i stor grad tapt under pyrolysen, noe som reduserer ressursutnyttelsen sammenlignet med direkte bruk som i dag.

Lønnsomheten i et pyrolyseanlegg vil avhenge av flere forhold enn selve biokullproduktet. God utnyttelse av overskuddsvarme er viktig. Overskuddsvarmen kan brukes til tørking av slam for å redusere lagrings- og transportkostnader sammenlignet med dagens løsning. Dersom lokal varmeutnyttelse ikke er mulig, bør samarbeid med andre kommuner eller industrielle aktører vurderes. Inndampet rejeckt vann fra biogassanlegg kan også benyttes til å lade biokull med næringsstoffer og dermed øke nytteverdien ved

bruk av biokull i jord. Slike løsninger er blant annet under utprøving ved Krogstad biogassanlegg i Lillestrøm. Biokull kan også lades ved å blande det inn i Oslo-kompost, slik at bruksmengden og karbonlagringen kan øke på andre arealer enn kommunens egne.

Oslo kommunes anslåtte behov for biokull, om lag 950 tonn per år, kan i dag dekkes gjennom innkjøp fra eksisterende produsenter. Dersom kommunen ønsker å etablere egen produksjon og økt bruk, bør dette derfor forankres i en bredere strategi som omfatter kommunens egen drift, anskaffelser, klimaarbeid og ressursforvaltning.

2 Forkortelser

Forkortelse	Betydning
ATEX	ATmosphères EXplosibles (fransk). ATEX er et regelverk i EU som handler om eksplosjonsfarlige områder.
BYM	Bymiljøetaten
CE	CE står for «Conformité Européenne» (fransk for «europeisk samsvar»).
cDGT	Diffusive Gradients in Thin-films, en målemetode for plantetilgjengelig fosfor
CHP	Combined Heat and Power, en motor som lager strøm og varme
EBC	European Biochar Certificate
EBF	European Biochar Foundation
End-of-waste	Et materiale som tidligere var klassifisert som avfall, kan slutte å være avfall dersom det: - har en bestemt nyttig anvendelse, - oppfyller krav til kvalitet og sikkerhet, - ikke medfører skade på helse eller miljø, - kan brukes på samme måte som et vanlig produkt
EPD	Environmental Product Declaration, miljødeklarasjon for produkter
GPE	Gravplassetaten
HTC	Hydrothermal Carbonisation (Hydrotermisk karbonisering) Maillardreaksjon mellom karbohydrater og aminosyrer
LCA	Life Cycle Assessment, livsløpsanalyse
LHV	Lower Heating Value, nedre brennverdi
Im	løpemeter
IVAR	Interkommunalt vann, avløp og renovasjon selskap i Rogaland
OBF	Oslobygg KF (kommunalt foretak)
Olsen-P	Plantetilgjengelig fosfor målt med Olsen-metoden (gir lavere verdier enn P-AL)
NRVA	Nedre Romerike Vann og Avløp
PAH	Polysykliske aromatiske hydrokarboner
P-AL	Plantetilgjengelig fosfor målt med AL-metoden (ammonium laktat)
PFAS	Per- og polyfluoralkylstoffer, en stoffgruppe som er svært persistente. Enkelte varianter har strenge grenseverdier i drikkevann og i avløpsslam som kan brukes som gjødselvere.
REG	Oslo renovasjons- og gjenvinningsetaten
TEK17	Gjeldende byggteknisk forskrift
TOC	Total Organic Carbon (Total organisk karbon)
TRL	Technology Readiness Level, teknologimodenhetsnivå
TS	Tørrstoff og oppgis i prosent
VAV	Oslo vann- og avløpsetaten
VS	Volatile solid, som er det samme som flyktig tørrstoff. Tørrstoffet er brent ved 550 °C og det som forsvinner (VS) oppgis som prosent av tørrstoffet. VS er motsatt aske.
ØRAS	Øvre Romerike avfallsselskap

3 Innledning

Oslo kommune, ved Vann- og avløpsetaten og Klimaetaten, ønsker å utrede muligheten for å bruke kommunens egne organiske ressurser til produksjon av biokull for karbonlagring, med mål om at dette på sikt kan inngå i kommunens klimaregnskap. Som del av dette arbeidet vurderes utviklingen av en «Oslo-modell» for bruk av biokull. I denne sammenhengen ser kommunen blant annet til Stockholm, som har etablert et system for bruk av biokull i urbane grøntanlegg basert på hage- og parkavfall.

Oslo kommune har flere aktuelle fraksjoner som kan vurderes som råstoff til biokullproduksjon: avløpsslam, vannverkslam, hage- og parkavfall samt avfallstrevirke. I dag inngår disse fraksjonene i etablerte verdikjeder: slam benyttes til jordblandinger og jordforbedring, hage- og parkavfall går til kommunens komposteringsanlegg for produksjon av Oslo-kompost, treavfall går til materialgjenvinning og til flisfyring, mens avfallstrevirke håndteres av private aktører og brukes også trolig til flisfyring.

Denne rapporten vurderer mulighetsrommet for biokullproduksjon basert på Oslo kommunes egne ressurser, inkludert teknologiske løsninger, forskningsfront, kostnader og barrierer. Biokull gir betydelig nytte ved å bidra til karbonlagring og ved å forbedre jordstruktur, vannlagringsevne og plantevekst. I tillegg kan biokull fungere som rensemedium og som komponent i overvannsløsninger og avløpsrensing.

For å lykkes med en Oslo-modell for biokull må det være både behov og et fungerende kommunalt marked for produktet. Det innebærer at det finnes tilstrekkelig og langsiktig etterspørsel etter biokull i kommunen, samt konkrete bruksområder som kan ta imot de produserte volumene. Et fungerende kommunalt marked innebærer at kommunen både bidrar med avfallsressurser til produksjonen og fungerer som kunde for deler av biokullet som produseres. Det vil være avgjørende at kommunens relevante etater forplikter seg til å levere egnede avfallsressurser og samtidig ta i bruk biokull som en del av innsatsfaktorene i utviklingen av grønn infrastruktur i hovedstaden. Denne rapporten belyser derfor både hvilke biokullprodukter det kan være behov for i Oslo kommunes virksomhet, og i hvilken grad biokullproduksjon kan utgjøre en hensiktsmessig behandlingsløsning for utvalgte organiske avfallsstrømmer gjennom økt karbonlagring og redusert behov for lagring, transport og spredeareal.

Fordi Oslo kommune ønsker å utrede muligheten for pyrolyse av avløpsslam samt mer trebaserte avfallsressurser, har vi i den samfunnsøkonomiske analysen vurdert tre ulike modeller for produksjon av biokull. Bakgrunnen for dette er at ulike avfallsressurser har forskjellige bruksområder og ulikt verdipotensial, avhengig av om de behandles i ett felles anlegg eller i separate anlegg. I tillegg har avfallsressursene ulikt energipotensial i opprinnelig tilstand. Ved å kombinere to anlegg kan overskuddsenergi fra det ene anlegget for eksempel benyttes til tørking i det andre, noe som kan bidra til bedre ressursutnyttelse, samt ivareta både produktegenskaper og økonomi for biokullproduktene. En analyse av to anlegg er ikke vurdert.

Alternativene som er vurdert i analysen er:

- Et anlegg som kun pyrolyserer utråtnet avløpsslam og vannverkslam
- Samlokalisering av ett felles anlegg der utråtnet avløpsslam, vannverkslam og avfallstrevirke forbehandles til pellets, tørkes og pyrolyseres sammen.
- Et anlegg som kun pyrolyserer avfallstrevirke og hage- og parkavfall

4 Kartlegging av avfallsressurser og dagens bruk av biokull

For å få en oversikt over hvilke mengder og typer organiske restfraksjoner som kan være aktuelle avfallsressurser for produksjon av biokull, utarbeidet COWI et spørreskjema som ble sendt til ulike kommunale virksomheter. I skjemaet ble det også bedt om tilbakemelding på eventuell bruk av biokull i dag og en eventuell prognose fem år fram i tid. Følgende virksomheter fikk tilsendt skjema: Renovasjons- og gjenvinningsetaten (REG), Vann- og avløpsetaten (VAV), Bymiljøetaten (BYM), Gravplassetaten (GPE) og Oslobygg KF (OBF). Utsendt skjema er gitt i Vedlegg III: Spørsmålsskjema. Svarene fra de ulike etatene er gjengitt i Vedlegg IV.

I spørreskjemaet ble virksomhetene bedt om å gi tilbakemelding på hvor store mengder organiske restfraksjoner som oppstår i egen virksomhet eller eventuelt håndteres i egen virksomhet. Oslobygg, Bymiljøetaten og Gravplassetaten er alle virksomheter hvor det kan oppstå organiske restfraksjoner som trevirke og hage- og parkavfall. Felles for disse er imidlertid at det meste av aktiviteten er satt ut til entreprenører, og at det er begrenset hvor mye av dette som oppstår fra aktivitet i egen regi. Virksomhetene kan likevel legge føringer i kontraktene om hvordan avfallet skal håndteres, men dette vil kunne påvirke kostnadene for avfallshåndtering.

Virksomheter som Renovasjons- og gjenvinningsetaten (REG) og Vann- og avløpsetaten (VAV) er primært mottakere av organiske restfraksjoner fra andre. REG mottar og håndterer eksempelvis matavfall, avfallstrevirke og hage- og parkavfall fra husholdninger i Oslo, men også fra næringsdrivende og andre kommunale virksomheter. VAV mottar avløpsvann fra Oslos husholdninger og fra private og kommunale virksomheter i byen, som renses til rent vann og råslam. Både REG og VAV behandler de organiske restfraksjonene i egne anlegg og sørger for videre håndtering. REG produserer Oslo-kompost av hage- og parkavfall, som brukes som vekstmedium av byens innbyggere og i byens grøntanlegg. VAV behandler råslam i et biogassanlegg til oppgradert biometan og biorest, som i dag går til jordforbedring i landbruket.

Felles for alle avfallsressurser som kan benyttes som råstoff til produksjon av biokull, er at de må gjennom forbehandling før de er egnet for bruk i et pyrolyseanlegg.

Gjennomgang av mulige avfallsressurser og behov for forbehandling drøftes i de etterfølgende punktene. En kort oppsummering av dagens og fremtidig bruk omtales også. Oppsummering av mengder og typer organiske restfraksjoner i de ulike kommunale virksomhetene framgår av tabell i Vedlegg IV.

4.1 Mengder og type avfallsressurser

4.1.1 Bymiljøetaten (BYM)

BYM forvalter fellesarealer som gater, torg, parker, friområder, idrettsanlegg, marka og indre Oslofjord. De har en Byromsdivisjon som igjen er delt inn i tre ulike avdelinger; Skog og landskap, Idrett og Park og byrom. Det er primært i disse avdelinger hvor det oppstår organiske restfraksjoner som leveres videre til ekstern behandling.

BYM har uttrykt at for dem er det et generelt internt mål at de fraksjoner som kan håndteres lokalt skal det, dels for å bevare biologisk mangfold og dels for å redusere transport og behandlingskostnader ved ekstern behandling.

Idrett

Gress håndteres lokalt, det samme skjer med det meste av hage- og parkavfallet. Noe hage- og parkavfall og samt trær som fjernes blir levert til eksterne anlegg, f.eks. REG/Oslo-kompost. Mengdene er i stor grad knyttet til vekstsesongen april til oktober.

Park og byrom

Hage- og parkavfall oppstår i all hovedsak i sommersesongen april til oktober, mens trær og deler av trær oppstår hele året. De har to trepleie kontrakter som medfører flis/trær som fjernes. Mye av hage- og parkavfallet fra indre by fjernes for å unngå forsøpling, mens mest mulig legges igjen på anleggene i ytre by. Større stammer leveres Oslo-kompost eller brukes til ved.

Skog og landskap

Det samles inn ca. 2 600 m³ grøntavfall fra øyene. Større trær blir liggende eller brukes til ved, mens det øvrige primært leveres til produksjon av Oslo-kompost. Dersom det benyttes en egenvekt på 0,2 tonn/m³, tilsvarer dette ca. 520 tonn. Noe av leveransen er fremmede arter som leveres til Franzefoss for destruksjon, så det kan antas at anslagsvis 500 tonn leveres til Oslo-kompost. Denne mengden inngår dermed i tallene REG har oppgitt for innlevert hage- og parkavfall.

Det er innsamling av ca. 2600 m³ grøntavfall fra øyene. Større trær blir liggende/brukt til ved, mens det øvrige primært leveres til produksjon av Oslo-kompost. Benyttes en egenvekt på 0,2 tonn/m³ tilsvarer det en mengde på ca. 520 tonn. Noe av leveransen er fremmede arter som leveres til Franzefoss for destruksjon, så det kan antas at anslagsvis 500 tonn leveres Oslo komposten. Denne mengden inngår dermed i de tall REG har oppgitt for innlevert hage- og parkavfall.

Det hugges anslagsvis 15.000 m³/år og 5 til 10 % av dette (750 til 1.500 m³ som tilsvarer ca. 200 til 400 tonn/år) er biovirke, som etter avtale med Nortømmer selges til energiutnyttelse. Et alternativ kunne ha vært å benytte det som en råvare til produksjon av biokull. Det er ikke kjent hvilken pris de får for dette i dag.

4.1.2 Gravplassetaten (GPE)

Gravplassetaten har gjort et anslag på at det leveres ca. 200 tonn hage- og parkavfall årlig. Avfallet samles opp og leveres i containere og de har lagt til grunn en egenvekt på avfallet på 175 kg/m³. Inkludert i dette er også ca. 15 tonn med døde trær fra kirkegårdene. Dette er den mengde som leveres til Oslo-kompost (REG) og inngår dermed i den mengde som oppgis i 0

4.1.3 Oslobygg KF (OBF)

OBF har i sin tilbakemelding skilt mellom mengder fra nybygg (byggavfall) og fra riveprosjekter (riveavfall). I all hovedsak oppstår dette avfallet i prosjekter som gjennomføres i regi av OBF. Mengdegrunnlaget er basert på avfallsrapportering fra eksterne entreprenører. OBF stiller krav til sortering og maksimale avfallsmengder i prosjektene. De kan i sine kontrakter eventuelt stille krav til bestemt håndtering av enkeltfraksjoner i avfallet som oppstår, men gjør ikke dette i dag. Dette kan eventuelt påvirke kostnadene for avfallshåndteringen.

Det oppstår også mindre mengder avfallsressurser fra egen drift og skjøtsel av bygningsmassen, men mengden er lav og ikke kvantifisert.

Byggavfall

OBF leverer mellom 2.000 og 8.000 tonn totalt med byggavfall hvert år.

Trevirke utgjør ca. 1/3 av det totale avfallet og varierer dermed mellom 600 og 2.700 tonn per år. Vanligvis mellom 1.000 og 2.000 tonn og de har anslått en tilsvarende mengde for 2030.

Papp, papir og kartong utgjør ca. 4% av total mengde byggavfall, dvs. 80-320 tonn/år.

Hage- og parkavfall utgjør lite av det totale avfallet fra byggeprosjekter og er anslått til «noen tonn» hvert år.

De har også noe hage- og parkavfall fra drift og skjøtsel av eiendommene, men har ikke eksakte tall for dette. Mengden leveres trolig Oslo-kompost og inngår dermed i det som oppgis i 0.

Riveavfall

Varierer mye, ca. samme størrelsesorden som totalt byggavfall årlig. Mindre andel av dette er trevirke, antas til rundt 1.000 tonn årlig. Kvaliteten er dårligere. Ikke særlige mengder med papp eller hage- og parkavfall.

4.1.4 Renovasjons- og gjenvinningsetaten (REG)

REG er ansvarlig for all innsamling av husholdningsavfall fra husholdningene i Oslo. Det er som kjent kildesortering av avfallet i Oslo hvor papir og papp har en egen beholder som leveres til privat aktør for videre sortering og materialgjenvinning. Plast, matavfall og restavfall legges i separate poser, men i samme beholder. Avfallet fra denne beholderen sorteres i et av de to sorteringsanleggene i Oslo. Lilla pose er plast og grønn pose er matavfall, mens resten håndteres som brennbart restavfall og går til avfallsforbrenning med energiutnyttelse. Plastavfallet leveres til privat aktør for videre sortering og material- og energigjenvinning, mens matavfallet går til Romerike biogassanlegg (RBA). Anlegget tilhørte tidligere REG, men er nylig solgt til det private selskapet Alltech. I salget inngår en langsiktig leveringsavtale av matavfall og vi anser det derfor som uaktuelt å vurdere produksjon av biokull basert på matavfall/utrånet matavfall.

REG har også mottak av diverse grovavfallsfraksjoner og hage- og parkavfall ved flere av gjenvinningsstasjonene. På stasjonene leveres avfallet i ulike containere, for eksempel trevirke og papp/papir, mens hage- og parkavfall leveres i haug eller container. De ulike fraksjonene går til videre sortering og material- eller energigjenvinning, mens hage- og parkavfallet blir kvernet og går til varmkompostering før det benyttes til produksjon av Oslo-kompost. Kompostanlegget driftes av REG.

REG har i sin tilbakemelding påpekt at de har et mål om at mest mulig av avfallet skal gå til materialgjenvinning. Dette gjelder også de organiske avfallsfraksjonene som kunne tenkes å være en råvare til produksjon av biokull. Det kan nevnes at Norsk Biokullnettverk nylig har fått utredet hvorvidt produksjon av biokull er å anse som materialgjenvinning. Konklusjonen i utredningen var at biokull er å anse som materialgjenvinning. Utredningen er ikke offentlig, kun tilgjengelig for medlemmer.

I sin tilbakemelding på spørsmålsskjemaet har REG opplyst følgende om de ulike organiske restfraksjoner som teoretisk kunne være aktuelle råvarer for produksjon av biokull:

Matavfall

Mengden innsamlet matavfall fra husholdningene i Oslo var i 2025 ca. 21.355 tonn våtvekt. De har oppgitt en TS (tørrestoff) på 30 % og det utgjør dermed 6.400 tonn/år. % VS (flyktig tørrestoff) er ikke oppgitt, men normalt ligger denne på ca. 90 % av TS og det tilsier en mengde VS på 5.800 tonn.

Matavfallet går som nevnt til RBA hvor det forbehandles og hvor det i etterkant går til utråkning i et biogassanlegg. I prosessen tilsettes store mengder vann. Mye av det organiske innholdet blir nedbrutt og omgjort til ca. 3,66 mill. Nm³ biogass, mens en sitter igjen med en flytende biorest med et TS-innhold på ca. 3 %. Av dette antas at mengden VS er ca. 30 %, dvs. at mengden VS i bioresten er redusert fra 5.800 tonn til ca. 370 Tonn. Den flytende bioresten vil bl.a. være rik på nitrogen og 100 % går til landbruket. REG sørger dels for mellomlagring og dekker transportkostnader, mens bønder delvis har egne mellomlagre og skal betale for den gjødselverdi bioresten representerer. Hvor mye dette er, er ikke nærmere kvantifisert av REG.

REG har oppgitt en behandlingskostnad for håndtering av matavfallet på 3.200 kr/tonn. Foruten kostnader til forbehandling/behandling skal dette også dekke de kostnader anlegget har for håndtering av bioresten. De ulike kostnadsledd er imidlertid ikke kjent/oppgitt.

Hage- og parkavfall

Mengden hage- og parkavfall som mottas er oppgitt til 20.000 tonn/år. Det er antatt en økning i kommende år og for 2030 er det anslått inntil 30.000 tonn. Tørrestoffprosenten i mottatt hage- og parkavfall er oppgitt til 20 % noe som virker lavt i forhold til at TS normalt oppgis til 30-40 %. Benytter vi 35 % TS vil dette tilsa en tørrestoffmengde på 7.000 tonn per år. Flyktig tørrestoff (VS) i hage- og parkavfall er normalt fra 50-75 % VS og legger vi til grunn 62,5 % VS, gir det en total mengde VS på 4.400 tonn/år. Det mottas også noe hestegjødsel og annet næringssubstrat som inngår i mengden som varmkomposteres. Dette vil øke mengden tørrestoff og flyktig tørrestoff, men det er ikke presisert hvor mange tonn dette utgjør. Det anslås en reduksjon i VS på 40-50 prosent i komposteringsprosessen. Mengden ferdig kompost er oppgitt til 10.000 tonn/år med en TS på 50-60 %. Dette skulle tilsa at mengden VS i ferdig kompost er mellom 2.000 og 2600

tonn som tilsvarer ca. 1000-1250 tonn karbon. Ved tilførsel av kompost til jord kan en viss andel av det organiske karbonet lagres som jordorganisk karbon (SOC). Hvor stor denne andelen er, avhenger av blant annet kompostens stabilitet, jordtype, klima og driftspraksis. Selv om det er godt dokumentert at kompost kan bidra til økte karbonlager i jord, viser forskningen at kun en begrenset andel av karbonet inngår i langsiktig stabile fraksjoner. Det finnes derfor ikke én entydig verdi for hvor stor del som omdannes til stabilt SOC over et 100-årsperspektiv

Det er gratis innlevering av inntil 3 m³ hage- og parkavfall fra husholdninger mens mengder ut over dette samt levering fra næringskunder betaler 285 kr/m³ for hage- og parkavfall og 1875 kr/m³ for stammer over 15 cm og for røtter. Dette gjenspeiler trolig kostnaden for kompostering og en dyrere nedmaling av grovt materiale. Kostnad i kr/tonn for levering av hage- og parkavfall er oppgitt til kr 500,-.

For selve komposteringsprosessen er dagens behandlingskostnad oppgitt til 110,- kr/tonn, mens inntekten ved salg av kompost oppgis til 240-440 kr/tonn avhengig av produkt.

Avfallstrevirke

Mengden trevirke som mottas ved gjenvinningsstasjonene er oppgitt til 13 500 tonn per år. Ca. 50 prosent av dette går til materialgjenvinning og ca. 50 prosent til energigjenvinning, i tråd med krav i avtalen REG i dag har med mottaker av trevirke fra gjenvinningsstasjonene. Impregnert trevirke kommer i tillegg til denne mengden og leveres til energigjenvinning.

Det er ikke oppgitt hvor mye som betales for håndtering av trevirke, men det antas at energigjenvinning av trevirke utgjør en plussfraksjon, mens materialgjenvinning muligens er en minusfraksjon. Dette skyldes at materialgjenvinning stiller strengere krav til kvaliteten på leveransen, noe som også medfører høyere kostnader for å oppnå tilstrekkelig kvalitet.

REG har oppgitt en sorteringsanalyse av 37 tonn i en trevirkecontainer. Den viste ca. 15 prosent rent trevirke, ca. 5 prosent paller, ca. 33 prosent behandlet trevirke, 10 prosent trebaserte plater, 23 prosent laminerte plater, 4 prosent MDF-plater (Medium Density Fibreboard - fiberplate med middels tetthet) samt diverse annet.

Levering av 1-3 m³ av bygge- og riveavfall koster 825 kr for både husholdninger og næringsdrivende.

4.1.5 Vann- og avløpsetaten (VAV)

VAV mottar avløpsvann ved Bekkelaget renseanlegg. Oslo kommune sender også større mengder avløpsvann til VEAS, som er et interkommunalt avløpsselskap i Asker kommune. Avløpsslammet fra VEAS er ikke en del av denne rapporten, siden VAV ikke har direkte ansvar for videre behandling eller håndtering av dette slammet.

Avløpsvannet til Bekkelaget renseanlegg inneholder organisk stoff og etter den håndtering avløpsvannet gjennomgår vil en sitte igjen med en slamfraksjon. Mengden råslam fra Bekkelaget renseanlegg oppga 212.000 tonn, men har blitt justert til 233.000 tonn/år etter samtale med anlegget. Mengden er rimelig jevnt fordelt over året, men ca. 5 prosent lavere i juli og august. TS i slammet er på ca. 5,2 prosent og av dette er 68 prosent VS i råslam. Fortykket råslam går til utråtning i biogassanlegget på Bekkelaget og en del av det organiske innholdet blir omdannet til biogass. Det produseres i dag 19 442 tonn avvannet slambiorester med en TS-prosent på 28,5 prosent etter avvanning og med 49 prosent VS. Årlig produksjon av biogass er vel 3 mill. Nm³ /år. Mengden VS i ferdig stabilt hygienisert utråtnet slam er dermed ca. 2.715 tonn/år. Det antas en liten vekst i avløpsmengde og slam og gassproduksjon fram til 2030.

Utråtnet avløpsslam går i dag ut til landbruket og håndteres i tråd med retningslinjene i gjødselsvareforskriften. Det er privat aktør som står for håndtering av slammet og VAV har ikke ønsket å gå ut med tall for hvilke kostnader de har for håndtering av slammet, da dette er unntatt offentlighet. Erfaringstall viser imidlertid at kostnaden ligger i området 400 til 600 kr/tonn ferdig spredd, men at prisnivået trolig går vesentlig opp i kommende år.

Ved Oset vannbehandlingsanlegg samt ved vannbehandlingsanlegget på Skullerud behandles råvann som går til drikkevannsnettet. Her vil det også være en slamfraksjon som inneholder noe organisk stoff. Mengden ved Oset er oppgitt å være 8.000 tonn/år med 18 prosent TS etter avvanning, som gir 1.440 tonn TS. Tørrstoffet inneholder rester etter behandling og består av humus, aluminium og marmorfinstoff. TOC i

tørrstoffet er oppgitt til 22,7 prosent. Her antas at TOC representerer halvparten av VS. Det gir 45,5 prosent VS i tørrstoffet, og det gir ca. 655 tonn VS /år. Vannverksslammet fra Oset går til jordforbedring.

Slam som oppstår ved Skullerud vannrenseanlegg, blir ført via ledningsnett til Bekkelaget renseanlegg og inngår dermed i mengden mottatt avløpsvann.

Det nye vannbehandlingsanlegget på Huseby planlegges ferdigstilt i 2028 og vil erstatte deler av produksjonen ved Oset. I dette prosjektet er det derfor ikke gjort en egen vurdering av slamproduksjon fra Huseby, ettersom økt slamproduksjon der vil motsvares av en tilsvarende reduksjon ved Oset

4.1.6 Oppsummerte mengder fra kommunens etater

I Tabell 4-1 vises en oppsummering av mengder organiske avfallsressurser som kan være egnet for pyrolyse og produksjon av biokull. Resultatene presenteres som lave og høye estimer basert på henholdsvis lave og høye verdier for TS, VS og mengder. Siden GPE leverer hage- og parkavfall til REG, er disse mengdene inkludert i tallene fra REG. Det er ikke oppgitt tørrstoff eller flyktig tørrstoff for flere av fraksjonene, og følgende sjablongverdier er benyttet for å kunne gi et estimat for potensialet for biokullproduksjon.

Trevirke/rivningsvirke: 70-90 % tørrstoff (TS), middelverdi 80 %TS
Hage- og parkavfall: 25-50 % TS, middelverdi 40 % TS

For avløpsslam og vannverkslam finnes det mer informasjon, og for disse er følgende verdier benyttet

Vannverkslam: 18 %TS og 45,5 % VS
Avløpsslam 28,5% TS og 49 % VS

Tabell 4-1 Samlet oversikt over avfallsressurser fra Oslo kommune hvor 200 tonn hage- og parkavfall fra GPE er inkludert i tall fra REG. Sum TS er basert på variasjon i TS i ulikt avfall. En midlere verdi for TS prosent er brukt for å beregne tonn TS.

Type avfall	BYM	OBF	GPE	REG	VAV	Sum	Sum	Middels Sum
Tonn våtvekt							Tonn TS	Tonn TS
Rivningsvirke		1.000		6.750		7.750	5.425 – 6.975	6.200
Rent trevirke		600-2.000*		6.750		7.350 -8.750	5.145 – 7.875	6.440
Hage- og parkavfall	769*		200**	20.000		20.769	5.192 -10.385	8.308
Vannverkslam					8.000	8.000	1.440	1.440
Avløpsslam					19.442	19.442	5.483	5.483
Total								27.871

* Gjennomsnittet er benyttet, 1300 tonn
** Noe hage- og parkavfall fra BYM går til REG, men alt fra GPE går til REG. Sistnevnte er holdt utenfor totalen for denne kategorien.

Dersom pyrolyseprosessen optimaliseres for høy karbonretensjon i biokullet, vil ulike avfallsressurser likevel gi forskjellig biokullutbytte, karboninnhold og andel stabilt karbon. Dette skyldes forskjeller i kjemiske sammensetning, herunder innhold av aske, flyktige organiske forbindelser og karbonrike komponenter som lignin, cellulose og hemicellulose. Optimalisering av karbonretensjonen påvirkes av prosessparametere som temperatur, oppvarmingshastighet og oppholdstid under pyrolysen. Tabell 4-2 viser faktorene som er benyttet i beregningene for de ulike avfallsressursene.

Stabilt karbon omregnes til CO₂-ekvivalenter ved å multiplisere med 3,67 basert på C *44/12= CO₂-ekvivalenter.

Tabell 4-2 Faktorer for beregning av lagret karbon fra de ulike avfallsressurser. Karbonmengde er basert på 50% av VS for de ulike fraksjonene.

Avfallsressurs	Biokull per tonn TS avfall	Karbon i biokull	Faktor for stabilt karbon i biokull
	%	%	
Tre-/rivningsvirke	0,36	0,8	0,85
Hage- og parkavfall	0,36	0,8	0,85
Vannverkslam	0,74	0,2	0,65
Utråtnet avløpsslam	0,74	0,4	0,65

Tabell 4-3 Middels estimat for potensial for mengde biokull og karbonlagring dersom alle avfallsressurser pyrolyseres

Totalt estimat	
	tonn
Biokull mengde	13.000
Stabil C	7.000
CO ₂ -ekvivalenter	25.000

4.2 Forbehandling av mulige avfallsressurser før pyrolyse

Et utgangspunkt for produksjon av biokull er at råstoffet har relativt høyt karboninnhold og lavt vanninnhold. Det er store forskjeller mellom de mulige avfallsressursene som er vurdert i punkt 4.1. Dette omfatter blant annet partikkelstørrelse, vanninnhold og kjemisk sammensetning. Dagens håndtering av avfallsressursene innebærer allerede krav til forbehandling, men for at de skal være egnet for pyrolyse kan det være behov for ytterligere forbehandling. Nedenfor omtales dagens forbehandling av aktuelle avfallsressurser, mens ytterligere krav ved produksjon av biokull også omtales i kapittel 5.

Trevirke i bygg- og riveavfall vil variere mye i dimensjon, men normalt høyt tørrstoffinnhold (>80 %). Kjemisk sammensetning vil primært avhenge om det er behandlet/malt eller ubehandlet. Det kan også følge med spiker, beslag etc. som må fjernes før det går til videre behandling/utnyttelse. Avfallstrevirke har i lang tid blitt benyttet til energiformål og har i det senere også vært utnyttet til materialgjenvinning ved produksjon av ulike typer treplater. I begge tilfeller er det behov for en forbehandling, som normalt består av en kvern og magneter for å fjerne metaller. Kvern kan enten være saktegående kvern eller mer hurtiggående kverner eller hammermøller for å male opp trevirket i mindre biter. Magnetsavskilling kan skje i flere trinn i forbehandlingsprosessen. Både kvernløsning og etterfølgende utnyttelse av trevirke vil påvirke valg av løsning på forbehandlingen.

Bruk av avfallstrevirke til produksjon av biokull vil kreve en tilsvarende forbehandling som beskrevet ovenfor, men det vil trolig være krav til partikkelstørrelse og bruk av hammermølle/hurtiggående kvern. Skal en produsere trevirke som eventuelt skal benyttes i en blanding med andre og fuktigere råvarer som avløpsslam og vannverkslam for å øke TS og karboninnhold, vil en trolig også måtte pelletere råvaren. Dette setter bl.a. krav til partikkelstørrelse og dermed en supplerende forbehandling med sikting.

Kostnaden for forbehandling vil også gjenspeile bruken i etterkant og hvilke krav det er til renhet på trevirket. REG har som nevnt ikke ønsket å oppgi sin kostnad for videre håndtering av trevirket, men ut fra erfaring fra andre aktører vil vi stipulere kostnaden til 100-150 kr/tonn.

Avfallstrevirke fra avfallsanlegg benyttes flere steder (bl.a. ved ØRAS) til produksjon av biokull.

Trær og hage- og parkavfall vil kunne variere betydelig i størrelse og dels også i vanninnhold. Ferske trær og røtter har ofte et TS-innhold på 50 prosent mens greiner og kvist, gress og blader har et noe lavere TS innhold (30-40 %). Forskjell i dimensjon gjør også at trær og røtter krever en annen forbehandling enn annet hage- og parkavfall. Mange privatpersoner har anskaffet en kompostkvern, mens hage- og parkavfall som mottas ved private eller kommunale mottak benytter større kverner for å male opp avfallet før det komposteres. I en komposteringsprosess er en avhengig av å få luft inn i prosessen og dimensjonen kan derfor variere noe. Ved kompostering er en også avhengig av et visst vanninnhold for å få prosessen til å gå. Skal hage- og parkavfall gå til pyrolyse, vil det kunne kreve nedmaling til en jevnere partikkelstørrelse og et lavere vanninnhold, men hage- og parkavfall benyttes flere steder (som f.eks. Stockholm og IVAR i Rogaland) til produksjon av biokull, mens en ved Oppland Biokull på Rudshøgda benytter rent skogsavfall.

Kostnaden for kverning/nedmaling av hage- og parkavfall vil variere etter hvor store mengder som skal håndteres, om det skjer ved innleie av ekstern aktør eller i egen regi. REG har en pris for levering av hage- og parkavfall på 285 kr/m³. Dette skulle tilsi en kostnad på 60-70 kr/tonn. Erfaringstall fra andre mottak i regionen tilsier en kostnad for nedmaling og kompostering i samme størrelsesorden eller litt høyere noe som også vil henge sammen med om transport og etterfølgende kompostering inngår i kostnaden. Kostnaden for levering av grove trær og røtter er ved levering til REG oppgitt til 1875 kr/m³, noe som tilsier kostnad på ca. 470 kr/tonn.

BYM har som nevnt en avtale med Nortømmer om avsetning av stubber og kvist etter tømmerhugst (5-10 % av hugstvolum) til bioenergiformål. Det er en positiv verdi på dette, men hvor mye de får betalt er ikke oppgitt av BYM. Slikt restvirke vil ofte ligge til tørk i en periode for å redusere vanninnhold og øke brennverdien før nedmaling og energiutnyttelse.

Det er også forskjeller på hvilke pyrolyseteknologier som er egnet for ulike typer råstoff, men råstoffet bør ikke ha for lav TS og for høyt askeinnhold. Foruten krav til partikkelstørrelse kan det innebære krav til tørking og ev. innblanding av andre fraksjoner med høyere TS og karboninnhold.

Utråtnet avløpsslam vil fortsatt inneholde en del karbon og kan være aktuelt råstoff for produksjon av biokull. Vanninnholdet er imidlertid høyt, og ettersom karboninnholdet er lavt, vil slammet måtte tørkes før

det går til pyrolyse. Etter utråtning vil TS ofte være rundt fem prosent, og avvanning, for eksempel i sentrifuge, vil ofte være et første tørkettrinn. TS i utråtnet slam vil da øke til om lag 25 %, og slammet kan transporteres og eventuelt spres i landbruket. For å tørke slammet ytterligere er det behov for energi. Energien kan hentes fra pyrolyseprosessen, ettersom noe av karboninnholdet blir omdannet til energirik gass, og varmen fra forbrenning av denne kan benyttes i tørkeprosessen. Dersom karboninnholdet er lavt, kan mengden pyrolysegass bli for lav i forhold til energibehovet til tørking. Det kan derfor være ønskelig å øke karboninnholdet før slammet går til pyrolyse. Dette kan eventuelt gjøres ved å blande inn oppmalt trevirke eller sagflis ved pelletering av de to fraksjonene. Det pågår et parallelt VAV-forsøk med Lindum AS for å øke utbyttet fra utråtnet slam sammen med trevirke og for å redusere askeinnholdet i biokullet. Tidligere forsøk med pyrolyse av kun utråtnet avvannet slam ved Lindum AS var krevende, og de har funnet at en blanding av slam og trevirke til pellets før pyrolyse gir en vesentlig bedre driftssituasjon.

Kostnad for produksjon av pellets er ikke kjent, men basert på tall fra 2020-21 anslår en produksjonskostnad på 1000-1500 kr/tonn.

Det er levert flere pyrolyseanlegg for slam og flere har tørke som en del av forprosessen før pyrolyse. Et annet alternativ er å etablere et separat tørkeanlegg. Det er flere leverandører av ulike tørkeprosesser som for eksempel trommeltørker. En tørke fjerner vann noe som reduserer vekten av slam vesentlig (1/4 av våtvekt), og tørket slam er stabilt og luktsvakt noe som gir bedre lagringsegenskaper. Energiforbruket til å tørke er anslagsvis 0,8-1 kWh/kg fordampet vann, dette samt høye driftskostnader gjør tørking til en relativt kostbar prosess.

Det vil ofte være fordelaktig å etablere pyrolyse av avløpsslam i tilknytning til et biogassanlegg, fordi tilgjengelig biogass kan benyttes som energikilde til tørking av slammet før pyrolyse. I tillegg krever pyrolyseprosessen energi ved oppstart, og biogass kan være en hensiktsmessig energikilde for å dekke dette behovet. Samtidig er den økonomiske verdien av biogass i dag ofte høyere ved bruk som erstatning for fossilt drivstoff enn ved direkte bruk til varmeproduksjon, særlig for Bekkelaget renseanlegg som oppgraderer biogass til biometan. En vurdering av optimal disponering av biogassen må derfor inkludere både energibehovet i pyrolyseprosessen, alternativverdien av biometan og muligheten for utnyttelse av overskuddsvarme.

4.3 Teknisk vurdering av ulike avfallsressurser

Ved gjennomgang av de ulike pyrolyseteknologiene i kapittel 5 omtales også krav og mulige problemer knyttet til ulike avfallsressurser. Krav til forbehandling er omtalt i punkt 4.2, og som påpekt der er det også i dag i stor grad en forbehandling av de aktuelle avfallsressursene før dagens utnyttelse. Merkostnaden er derfor knyttet til eventuelle tilleggskrav ved pyrolyse til biokull.

Karbon- og energiinnholdet i råstoffene gjenspeiler også hvor mye biokull man kan få per tonn råstoff. Dette er også vesentlig for hvor mye energi som kan produseres fra prosessen, og som dels kan benyttes til tørking og dels til ekstern utnyttelse av overskuddsenergi. Dette vil også avhenge av pyrolyseteknologi og omtales nærmere i kapittel 5. Som nevnt i kapittel 4.1 og 4.2 er det store forskjeller i TS i de aktuelle avfallsressursene, noe som dels påvirker krav til etterfølgende prosess og kostnadene for produksjon av biokull.

Forurensninger, som tungmetaller og organiske miljøgifter, kan delvis oppkonsentreres i biokullet under pyrolyse, ettersom massetap fører til økt relativ konsentrasjon av ikke-flyktige stoffer. Tungmetaller brytes ikke ned, men enkelte, som kvikksølv og delvis kadmium og sink, kan fordampe ved høye temperaturer. Organiske miljøgifter vil i stor grad dekomponeres termisk, selv om nedbrytningsgraden avhenger av temperatur og prosessbetingelser. Rester av plast, herunder mikroplast, brytes ned til gass-, olje- og karbonfraksjoner og kan under visse forhold danne nye forbindelser. Oppkonsentrasjon av tungmetaller, særlig sink, vil kunne påvirke mulig bruk av biokullet i etterkant. Dette er nærmere omtalt i kapittel 5 og i omtalen av de ulike pyrolyseprosessene, samt i kapittel 6 hvor mulig bruk av biokull drøftes.

4.4 Bruk av biokull som klimatiltak

I arbeidet med å nå Oslo kommunes klimamål fremstår biogassproduksjon fra avløpsslam som et av de mest modne og dokumenterte klimatiltakene. Teknologien gir utslippsreduksjoner ved at biometan kan erstatte fossilt drivstoff, samtidig som næringsstoffer i avløpsslammet gjenvinnes. Dagens produksjon på om lag 21 GWh biometan ved Bekkelaget renseanlegg tilsvarer en potensiell klimagevinst på rundt 5.000 tonn CO₂-ekvivalenter per år ved substitusjon av fossilt drivstoff.

Pyrolyse av treavfall og hage- og parkavfall kan gi en ytterligere og mer langsiktig klimaeffekt gjennom karbonlagring i biokull, forutsatt at biokullet anvendes på en måte som sikrer varig lagring av karbonet. En kombinasjon av dagens biogassproduksjon fra avløpsslam og etterfølgende pyrolyse kan derfor være en interessant strategi for å kombinere kortsiktige utslippsreduksjoner med langsiktig karbonfjerning.

Et samlet karbonlagringspotensial fra Oslo kommunes egne avfallsressurser vil kunne tilsvare om lag 25 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år fra 13 100 tonn biokull, tilsvarende om lag 3 % av Oslos direkte klimagassutslipp. Selv om dette alene ikke er tilstrekkelig til å nå kommunens klimamål, vil det representere et betydelig bidrag til negative utslipp og kunne fungere som et viktig supplement til øvrige utslippsreduserende tiltak.

I søknaden om klimasatsmidler er det også påpekt at bruken av biokull vil kunne bidra til å oppfylle visjonen om at Oslo skal bli en klimanøytral by innen 2030. BYM har da også åpnet for bruk av biokull i flere sammenhenger i Parkinstruksen, som danner grunnlaget for utforming og overlevering av parker.

BYM har hatt noen mindre forsøk med bruk av biokull, men har ikke kommet med anslag for behov i dag eller i 2030. Det presiseres imidlertid at framtidig bruk vil avhenge av politiske føringer og hvilken kostnadskonsekvens bruk av biokull vil ha. Dette er også påpekt av andre virksomheter, og ingen av disse har kommet med konkrete anslag for hvor mye som eventuelt vil kunne brukes.

Vi har i samtaler med BYM fått en oversikt over igangsatte og planlagte byutviklingsprosjekter. Disse viser at det er en rekke prosjekter knyttet til vei, sykkelvei og gangstier. Bruk av biokull vil trolig variere stort og vil være avhenge av hvor mange og store grøntarealer/regnbed som skal etableres og om trær skal plantes. Det vil også være noe etablering av parkmessige arealer, som dels også er knyttet til veiprojekter. Hvis vi tar utgangspunkt i etablering av 10.000 m² parkareal, 4.000 lm (løpemeter) vei, og 1.200 lm sykkel/gangvei der vi antar et grøntareal på 1 m² per lm ved både vei og sykkel/gangvei får vi et totalt areal på ca. 15.000 m²/år. Antar vi innblanding av 15 prosent biokull i en jordblanding i øverste meter og en egenvekt på biokull på 0,2 gir dette et forbruk på 450 tonn per år. I tillegg vil en trolig kunne bruke noe biokull i drift av byens eksisterende parker og et anslag på bruk av ca. 500 tonn i de aktiviteter BYM styrer, anses ikke som urealistisk.

Ut over dette har VAV som nevnt også mulig bruk av biokull i ulike overvannsprosjekter og i tilknytning til overløpsløsninger ved pumpestasjoner. OBF og GPE har også antatt at noe bruk av biokull kan være aktuelt, men at dette vil avhenge av kostnad og politiske prioriteringer.

VAV har påpekt at det er mulig å anvende biokull for å rense overvann i naturbaserte løsninger som biofilter og infiltrasjonsanlegg, i forbindelse med overløpshåndtering ved pumpestasjoner eller som filtermasse for kvartærrensing i forbindelse med avløpsrensing, dersom slambiomasse er egnet for dette.

I Stockholm har det i mange år blitt produsert rundt 300 tonn biokull per år basert på innsamlet hage- og parkavfall, som en del av den såkalte Stockholmsmodellen. Biokullet brukes primært ved etablering og rehabilitering av grøntområder, samt ved nyplantning av bytrær langs trafikkerte arealer.

Det ferdig produserte biokullet lagres i 1,5 m³ storsekker og selges hovedsakelig til trafikkavdelingen i kommunen. I tillegg har biokull i enkelte perioder blitt delt ut gratis til innbyggere som leverer inn hage- og parkavfall.

Det er en målsetting om å øke produksjonen til om lag 1500 tonn biokull per år. En sentral suksessfaktor i modellen er ifølge aktørene et tett samarbeid mellom avfallsaktør, energiprodusent og sluttbrukere av biokullet.

Prosjektet ble etablert i 2015 gjennom et samarbeid mellom Stockholm Vatten och Avfall, trafikkkontoret i Stockholm kommune og Fortum, med produksjon ved anlegget i Högdalen – et industriområde sør i Stockholm hvor biokull produseres fra hage- og parkavfall.

Stockholm Vatten och Avfall har vurdert hydrotermisk karbonisering (HTC) som en mulig teknologi for fremtidig slambehandling. HTC skiller seg fra tradisjonell pyrolyse ved at prosessen skjer i en vannrik fase ved moderat temperatur (typisk ca. 180–250 °C) og forhøyet trykk, uten oksygentilførsel. Behandlingen fører til nedbrytning og omdanning av deler av det organiske materialet i slamm, noe som kan forbedre avvanningsegenskapene og redusere mengden slam som må håndteres. HTC av utrånnet slam kan produsere et karbonrikt, biokollignende faststoff (hydrochar) samt et prosessvann med økt innhold av løste organiske forbindelser og nitrogenforbindelser. Dette prosessvannet kan medføre økt belastning på renseanleggets nitrogenbehandling sammenlignet med konvensjonell avvanning av utrånnet slam

I forbindelse med byggingen av nytt Margretelund renseanlegg i Åkersberga (57 000 personekvivalenter) har Roslagsvatten valgt pyrolyseteknologi for behandling av avløpsslam. Prosessen består av tørking av avvannet slam ved 200 °C i to timer, etterfulgt av pyrolyse ved 650 °C i 20 minutter under oksygenfrie forhold. Pyrolyseanlegget skal settes i prøvedrift i 2026, mens det nye renseanlegget planlegges ferdigstilt i 2027. Forretningsmodellen bygger på sirkulær ressursutnyttelse, der slam omdannes til biokull og skaper verdi gjennom reduserte slamhåndteringskostnader, redusert klimafotavtrykk, karbonbinding og mulige inntekter fra salg av biokull og karbonkreditter.

Sandnes kommune har i en periode produsert biokull basert på hage- og parkavfall og har på sine hjemmesider anslått et forbruk på 300-350 tonn/år.

4.4.1 Bruk av biokull og slambiomkull som renseløsning for kvartærrensing

I det reviderte avløpsdirektivet fra EU legges det opp til at større renseanlegg (>150 000 personekvivalenter), som Bekkelaget, skal oppfylle krav om kvartærrensing innen ca. 2045. Implementeringen vil skje gradvis, med planleggings- og tilpasningskrav i årene fram mot dette, typisk i perioden 2030–2045, avhengig av nasjonal innføring.

Bekkelaget renseanlegg vil derfor trolig måtte etablere et ekstra rensetrinn for å redusere utslipp av organiske miljøgifter, ved bruk av avanserte oksidative teknologier som ozonering og/eller aktivt kull. Kvartærrensing omfatter fjerning av organiske mikroforurensninger som legemiddelrester, hormonforstyrrende stoffer, PFAS, pesticider og andre organiske miljøgifter som ikke fjernes effektivt i konvensjonelle rensetrinn.

Det pågår forsøk i regi av Aquateam COWI, der det testes hvordan pyrolysert utrånnet avløpsslam fra Bekkelaget og vannverkslam fra Oset vannbehandlingsanlegg, kombinert med flis fra avfallstrevirke fra Lindum AS, kan benyttes som et mulig rensedium i møte med kommende rensekraav. Det er allerede testet om rent biokull fra trevirke kan fungere for å rense legemidler, og foreløpige resultater er lovende når trebasert biokull kombineres med andre avanserte rensemetoder.

Det har vært gjennomført isothermforsøk med bruk av ristetester og biokull basert på trevirke. Her antas det at resultatene gir litt for «gode resultater» sammenlignet med kolonneforsøk. Det gjennomføres nå kolonneforsøk der man bruker større vannmengder og ristetester med aktivt kull, rent trebasert biokull og slambiomkull med trevirke med slam fra Oset og Bekkelaget. Prøver er klar til å sende til analyser (Eilen Vik pers. med 04.04.2026) så resultater foreligger ikke ennå.

Dimensjonering av et rensetrinn med Granular Activated Carbon (GAC) baseres på hydraulisk kapasitet, filterareal og filterdybde, der kontakttid (EBCT) og filterhastighet er sentrale dimensjoneringsparametere. Typiske GAC-filtre har en pakket kuldensitet i størrelsesorden 400–550 kg/m³ filtervolum. Total installert GAC-mengde bestemmes av valgt EBCT og behandlingsskapasitet, mens behov for utskiftning eller regenerering avhenger av stoffbelastning og valgt gjennombruddskriterium (nivå for redusert renseeffekt).

Ved kvartærrensing av kommunalt avløpsvann benyttes ofte en EBCT på 15–20 minutter. Utskiftning eller regenerering skjer typisk hvert 1–2 år, avhengig av innholdet av løst organisk stoff og organiske miljøgifter i avløpet. GAC kan normalt regenereres flere ganger.

For et renseanlegg med behandlingsskapasitet på ca. 100 000 m³/d vil nødvendig filtermedium typisk ligge i størrelsesorden 500–700 tonn GAC. Dersom biokull produsert fra pyrolysert avløpsslam og trevirke kan benyttes uten uakseptable negative effekter, og forutsatt en adsorpsjonskapasitet på 30 % av GAC, uttrykt som forholdet mellom adsorbert stoffmengde per masse karbon (mg/g), vil tilsvarende renseeffekt kreve omkring 2 000–2 300 tonn slambiomkull per år på grunn av årlig utskiftning og lav sannsynlighet for regenerering.

Med en GAC-pris på om lag 30 000 kr/tonn (Stowa, 2025) og en nødvendig filtermengde på ca. 700 tonn, vil første gangs fylling av filteret koste om lag 21 millioner kr. Ved regenerering annethvert år og en regenereringskostnad på ca. 6 000 kr/tonn, vil hvert regenereringstrinn koste ca. 4,2 millioner kr. Over en tiårsperiode gjennomføres fem regenereringer, noe som gir en samlet regenereringskostnad på ca. 21 millioner kr. Totalkostnaden for GAC over ti år blir dermed om lag 42 millioner kr, tilsvarende en gjennomsnittlig årlig kostnad på ca. 4,2 millioner kr/år. Dette tilsvarer en årlig (annualisert) kostnad på om lag 6 000 kr per tonn installert GAC.

5 Produksjon av biokull

Egenskapene og innholdet i biokull påvirkes i stor grad av råstoffet, inkludert karboninnhold, vanninnhold, næringsstoffer, tungmetaller, organiske forurensninger og partikkelstørrelse, samt av pyrolyseforholdene, der særlig temperatur og oppvarmingshastighet er avgjørende (Xing m.fl., 2021; Tomczyk m.fl., 2020).

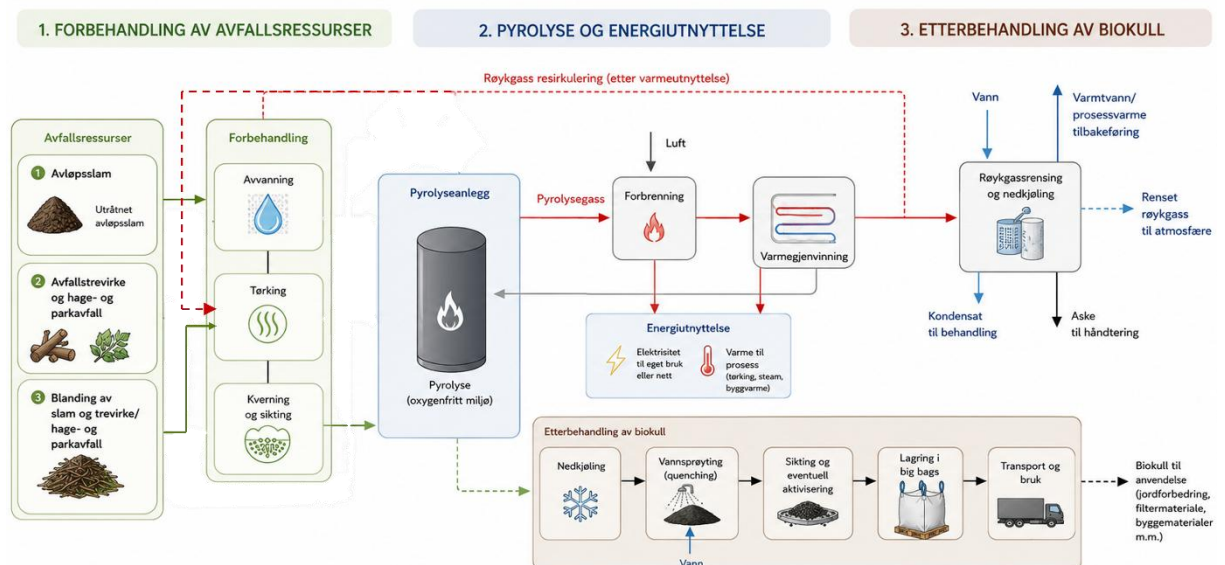
Slambiomkull produsert fra utrånnet avløpsslam vil ha lavere karboninnhold og høyere askeinnhold enn biokull fra råslam (Tay m.fl. 2001). Samtidig viser studier at råslam kan gi biokull med større spesifikt overflateareal og porevolum, noe som gir bedre potensial for adsorpsjon og renseeffekt (Tay m.fl., 2001). Det kan likevel være store variasjoner mellom ulike typer slambiomkull.

Avløpsslam som har gjennomgått kjemisk felling gir biokull med høyere askeinnhold og lavere karboninnhold, fordi utfellingskjemikalier blir værende i materialet også etter pyrolyseprosessen (Xing m. fl., 2021; RenCARbio, 2023; Bezabeh m.fl., 2025).

5.1 Generell innføring i pyrolyseteknologier

Pyrolyseprosessen for å produsere biokull fra de aktuelle avfallsressursene kan deles inn i noen generelle prosessstrinn, som vist i Figur 1:

- Forbehandling for å redusere vanninnhold. Dette kan innebære ytterligere avvanning med skruerpresse før tørking til ca. 75–85 % TS, samt kverning og sikting av hage- og parkavfall og trevirke. For visse typer avfallsressurser kan det være behov for pelletering, særlig for slam.
- Pyrolyse: Råstoffet omdannes til biokull og pyrolysegass under svært lav eller ingen tilgang på oksygen, normalt ved ca. 500–600 °C. Avhengig av om gassen kjøles raskt ned eller ikke, vil det også dannes mer eller mindre pyrolyseolje i kondensatet.
- Etterbehandling av kullproduktet, ved vannsprøyting for nedkjøling, lading med næringsstoffer, eventuelt innblanding i kompost for å redusere negativ effekt av biokull til bruk som gjødselvarer, samt pakking og lagring.
- Forbrenning av pyrolysegassen. Dette danner varm røykgass som driver pyrolyseprosessen, brukes til tørking av innkommende biomasse og til oppvarming av luft til forbrenning (pyrolyse er en endoterm prosess og krever tilført varme) og vann til røykgassrensing.
- Til slutt er god røykgassrensing viktig for å håndtere utslipp fra prosessen. Kondensat og aske fra dette trinnet må håndteres. Overskuddsvarme fra prosessen kan brukes til tørking av biomasse før pyrolyse eller til fjernvarme.



Figur 1. Prosessstrinn for pyrolyse.

5.1.1 Sluttprodukter

Råstoffet brytes hovedsakelig ned til tre sluttprodukter i et pyrolyseanlegg:

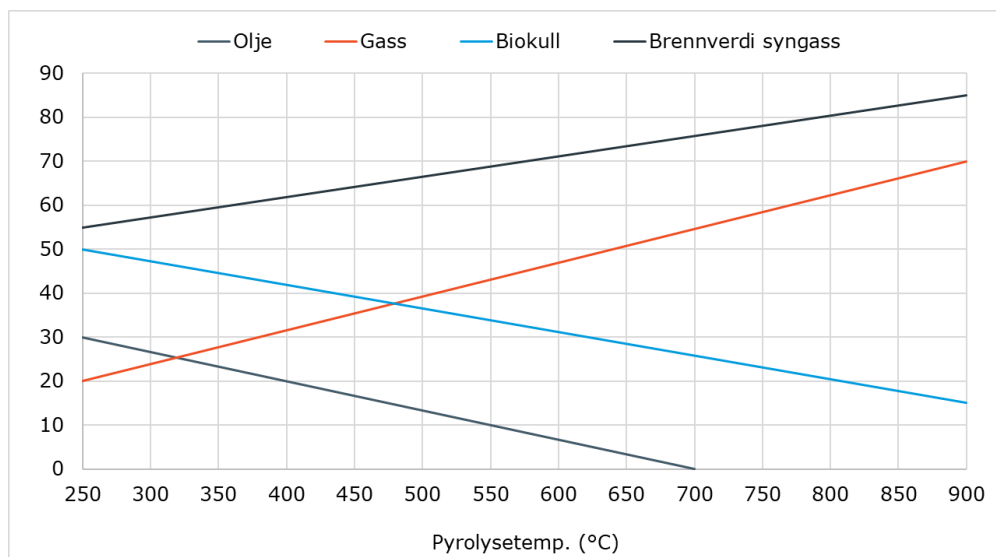
- Biokull
- Pyrolysegass
- Pyrolyseolje

Biokull består hovedsakelig av karbon, men inneholder også en andel aske fra uorganiske stoffer som ikke brytes ned under prosessen eller drives av med avgassen. Pyrolysegass består av brennbare gasser som karbonmonoksid, hydrogen og metan, mens pyrolyseolje består av oljelignende forbindelser. Pyrolysegass og pyrolyseolje kan utnyttes til energiproduksjon eller til produksjon av kjemikalier, for eksempel drivstoff.

Mengden av hvert sluttprodukt avhenger av prosessbetingelsene blant annet oppvarmingshastighet, temperatur og oppholdstid. Figur 2 viser fordelingen av sluttproduktene som funksjon av pyrolysetemperatur. Det må understrekes at figuren er basert på flere studier som ikke har brukt harmoniserte betingelser, og at det er pyrolysert ulike råstoffer. Formålet med figuren er å vise de vanligste trendene ved ulike pyrolysetemperaturer.

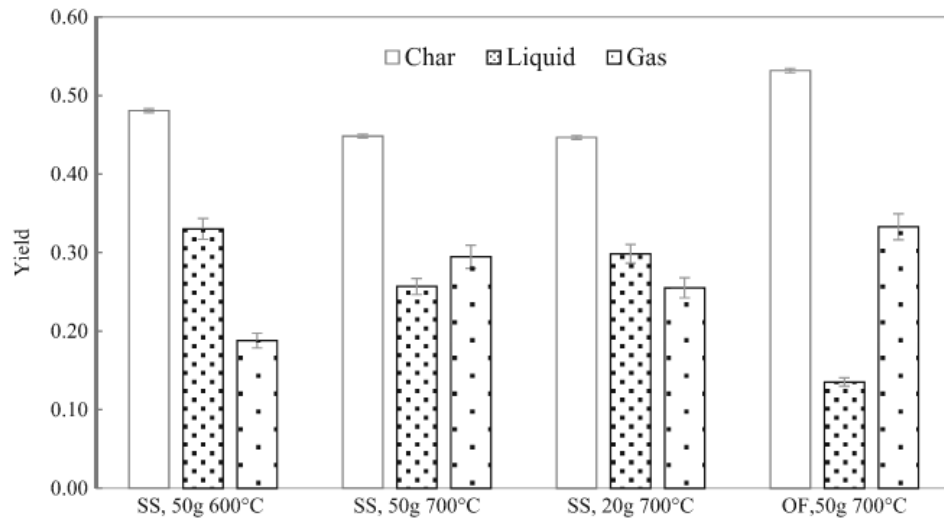
Figur 2 viser at biokullandelen synker med økende temperatur, noe som vil redusere potensialet for karbonbinding. På den annen side vil både gassproduksjonen og brennverdien på pyrolysegassen øke, og dette vil øke potensialet for produksjon av høyverdig energi (elektrisitet).

Andelen pyrolysegass øker med økende temperatur, mens andelen biokull og olje synker. Oljeandelen kan bli borte ved en viss temperatur, i figuren illustrert med ca. 700 °C, men dette kan skje ved både lavere og høyere temperaturer, avhengig av råstoff, temperaturhevingshastighet og oppholdstid i reaktoren.



Figur 2. Generell fordeling i prosent (Y-akse) av sluttproduktene pyrolyseolje, gass og biokull, samt brennverdi for gass som funksjon av pyrolysetemperatur (x-akse).

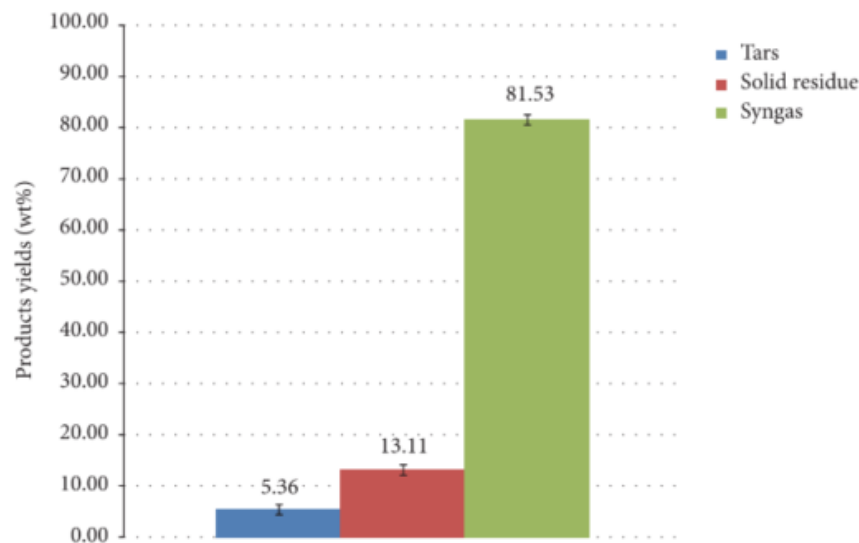
Et eksempel på at oljeandelen fortsatt kan være betydningsfull på såpass høye temperaturer som 700 °C er vist i Figur 3 hvor pyrolyse av slam ("SS" = Sewage Sludge) kan ha om lag 25-30 % flytende ("liquid" = oljefraksjonen) andel. En årsak til at all olje blir "borte" er at den ganske enkelt fordamper og går over i gassform ved høye temperaturer. Dersom gassen tillates å bli kjølt ned, f.eks. for bruk i CHP (Combined Heat and Power, gassmotor), vil dermed noe av oljen kondensere og oljeandelen igjen øke.



Figur 3. Utbytte av ulike sluttprodukter ved pyrolyse av avløpsslam (SS) og kompost (OF) (Agar, Kwapinska, & Leahy, 2018).

Gassifisering er en variant av pyrolyseprosessen hvor temperaturen er høy (>800 °C). I denne prosessen vil pyrolysegass være det totalt dominerende sluttprodukt som er illustrert i Figur 4 og Dette støttes av fordelingen i Tabell 5-1, hvor gassproduksjon er viktigst ved gassifisering. Tabellen illustrerer også at ikke bare pyrolysetemperaturen, men også oppholdstiden har betydning for hvilke sluttprodukter som dannes. Korte oppholdstider gir mer pyrolyseolje, mens lengre oppholdstider bidrar til at produksjon av olje erstattes av pyrolysegass. Dette bekreftes også i andre studier (Callegari, Hlavinek, & Capodaglio, 2018; Callegari & Capodaglio, 2018; Wang D. m.fl., 2020).

Tabell 5-1.



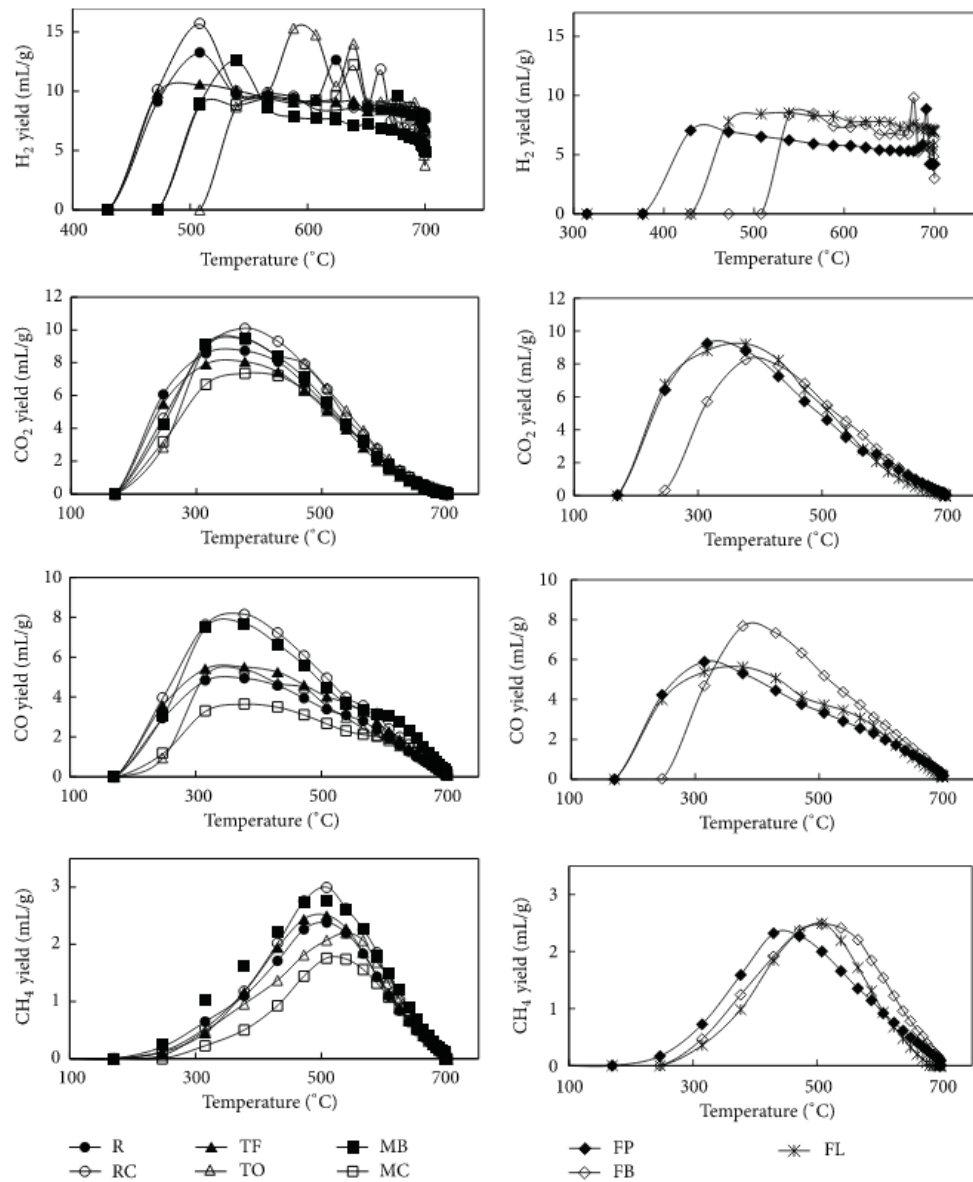
Figur 4. Fordeling av sluttprodukter ved gassifisering (>900 °C) av avløpsslam (Tabelsi m.fl, 2017).

Dette støttes av fordelingen i Tabell 5-1, hvor gassproduksjon er viktigst ved gassifisering. Tabellen illustrerer også at ikke bare pyrolysetemperaturen, men også oppholdstiden har betydning for hvilke sluttprodukter som dannes. Korte oppholdstider gir mer pyrolyseolje, mens lengre oppholdstider bidrar til at produksjon av olje erstattes av pyrolysegass. Dette bekreftes også i andre studier (Callegari, Hlavinek, & Capodaglio, 2018; Callegari & Capodaglio, 2018; Wang D. m.fl., 2020).

Tabell 5-1 Fordeling av sluttprodukter som effekt av ulike pyrolyseprinsipper (SINTEF, 2017).

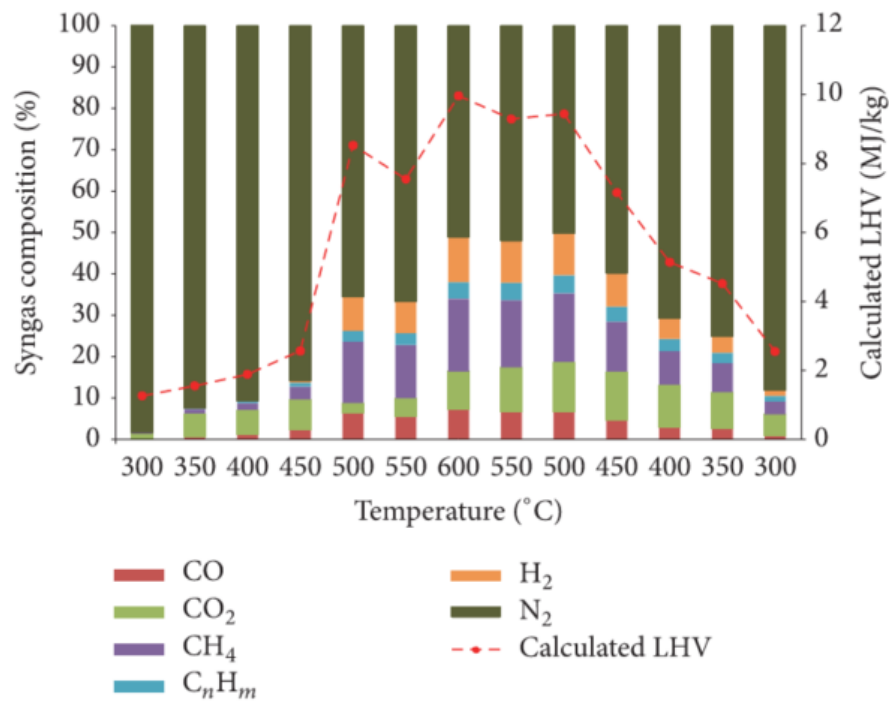
Type	Betingelser	Kull	Væske	Gass
Langsom pyrolyse (karbonisering)	Lav temperatur, ca. 350-500 °C, oppholdstid flere minutter til få timer	45	35	20
Intermediær pyrolyse	Moderat temp., ca. 500-600 °C, oppholdstid 10-20 sek	20	50	30
Rask pyrolyse	Moderat temp., 500-700 °C, kort oppholdstid 1-2 sek	10	75	15
Gassifisering	Høy temperatur, over 800 °C, lang oppholdstid	10	5	85

Figur 2 viser også at brennverdien til pyrolysegassen øker med økende temperatur. Dette skyldes blant annet at innholdet av hydrogen øker i gassen, men også metaninnholdet bidrar, slik Figur 5 og Figur 6 illustrerer. Figur 5 viser produksjon av ulike gasser som funksjon av temperatur for ni ulike kompostblandinger. Gasskonsentrasjonene ble målt mens temperaturen i pyrolysereaktoren ble økt til maksimalt 700 °C. Forsøkene ble kjørt med nitrogen som inertgass, og målingene ble stoppet når det kun ble målt nitrogen i gassen. Figuren viser at hydrogen produseres jevnt helt opp til 700 °C, mens de andre gassene har ulike temperaturmaksima. CO og CO₂ hadde maksimum ved 300–400 °C, mens CH₄ hadde maksimum rundt 500 °C.



Figur 5. Produksjon av ulike gasser som funksjon av temperatur i en pyrolysereaktor (Hlavsova m.fl, 2014)

Figur 6 viser den målte gassammensetningen ved ulike temperaturer i et pyrolyseforsøk med avløpsslam, der temperaturen ble økt til 600 °C og deretter senket igjen. Figuren viser at metanproduksjonen, i tillegg til hydrogenproduksjonen, øker betydelig med økende temperatur. Metanproduksjonen ser også her ut til å ha et maksimum på ca. 500 °C. I tillegg viser den røde stiplede linjen at nedre brennverdi (LHV) øker med økende temperatur. Gassen vil i dette tilfellet få en høyere brennverdi. Dette kan forklares med gassammensetningen, der de brennbare gassene H₂, CH₄ og CO dominerer ved de høyeste temperaturene.



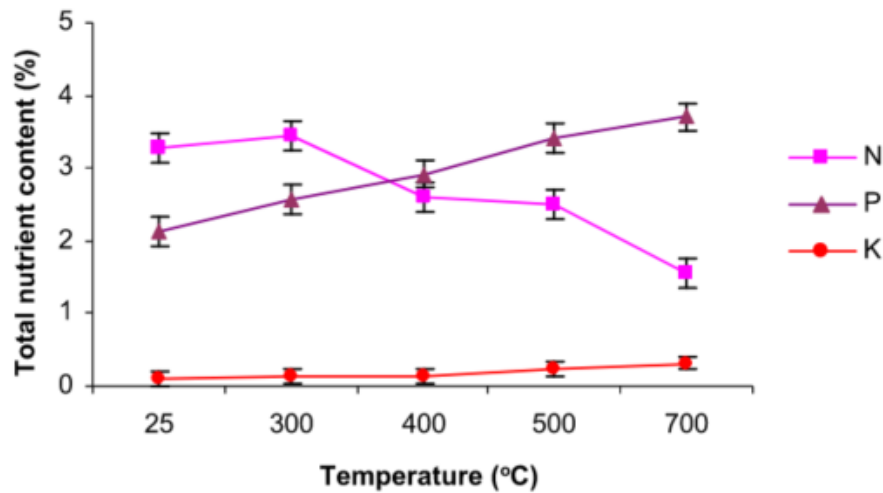
Figur 6. Bestanddeler i pyrolysegass ved ulike temperaturer i pyrolyseforsøk utført med avløpsslam (Trabelsi m.fl., 2017).

I litteraturen er det ikke fokusert mye på kvaliteten på pyrolyseoljen. Denne kan benyttes som brensel i ovn eller i CHP, og som det vises ovenfor kan den ved medium temperaturer (400 – 600 °C) utgjøre en betydelig andel av sluttproduktene. Olje er i utgangspunktet lettere å håndtere enn gass, og dermed interessant ut fra praktiske og sikkerhetsmessige hensyn. Rapportert brennverdi på 37 MJ/kg tilsvarer normal biofyringsolje (Cao & Pawlowski, 2012), (Hofstad, 2025).

5.1.2 Ressursgjenvinning – plantenæringsstoffer

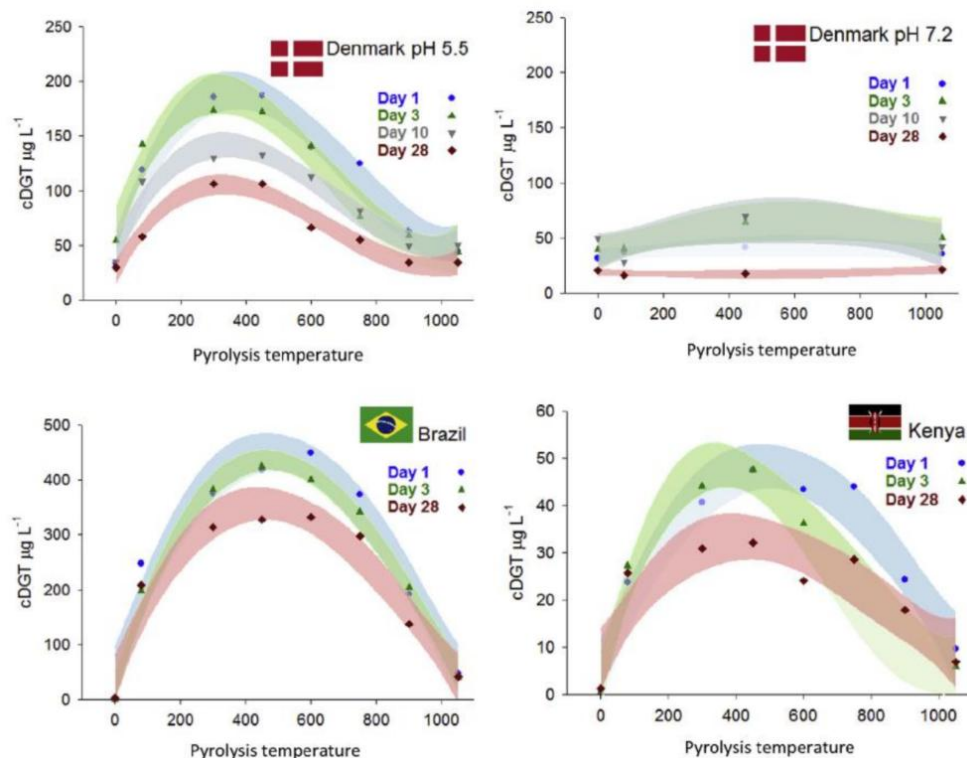
I et bærekraftperspektiv er det nyttig å vite hvordan prosessbetingelsene i et pyrolyseanlegg kan påvirke innholdet av næringsstoffene nitrogen og fosfor. Dette er relevant både dersom man ønsker å tilbakeføre disse som plantenæringsstoffer, og i tilfeller der biokullet får andre bruksområder og næringsstoffene dermed tas ut av kretsløpet.

Det må understrekes at litteraturen spriker noe når det gjelder plantetilgjengelighet og innhold av både fosfor og nitrogen. En relativt tydelig trend er likevel at nitrogeninnholdet synker med stigende pyrolysetemperatur, mens fosforinnholdet øker. Dette forklares med at fosfor i større grad enn nitrogen er assosiert med uorganiske forbindelser, mens en større andel av nitrogenet er assosiert med flyktige forbindelser som drives av i pyrolyseprosessen (Hossain m.fl., 2011; Bezabeh m.fl., 2025). I slambiokull vil kaliuminnholdet øke ved høyere pyrolysetemperaturer (>500 °C), men den plantetilgjengelige andelen kalium er høyere ved lavere temperaturer (Bilias m.fl., 2023). Slambiokull har generelt lav konsentrasjon av kalium. Kalium er vannløselig og forblir i vannfasen framfor i slamfraksjonen. Innholdet av nitrogen, fosfor og kalium som funksjon av pyrolysetemperatur er vist i Figur 7.



Figur 7. Innhold av fosfor, nitrogen og kalium i biokull som funksjon av pyrolysetemperatur (Hossain m.fl., 2011).

Plantetilgjengeligheten av næringsstoffer varierer også med pyrolysetemperaturen og er illustrert for fosfor i Figur 8. Figuren viser plantetilgjengelig fosfor målt som cDGT i $\mu\text{g/l}$. cDGT er en målemetode for plantetilgjengelig fosfor (DGT = Diffusive Gradients in Thin-films). Figuren viser en topp i temperaturområdet 300–500 °C, med sterkt avtakende konsentrasjon av plantetilgjengelig fosfor ved høyere temperaturer. Ved gassifiseringstemperaturer (>900 °C) er det relativt lite plantetilgjengelig fosfor. En tilsvarende trend er rapportert i en brasiliansk/australsk studie (Figuereido m.fl., 2021).

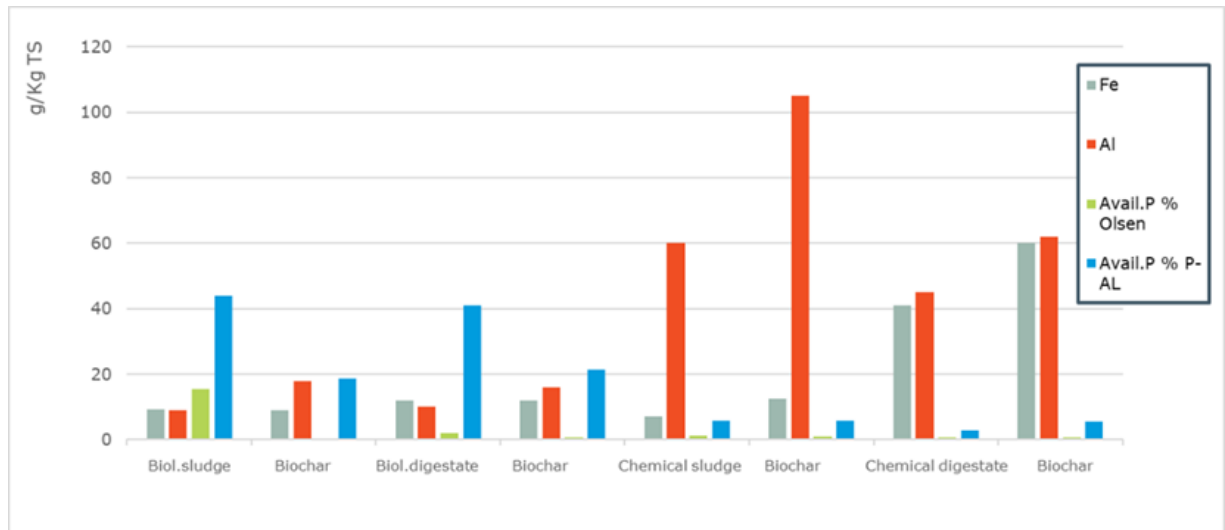


Figur 8. Konsentrasjon av plantetilgjengelig fosfor (cDGT) som funksjon av pyrolysetemperatur (Glæsner m.fl., 2019)

På grunn av høy stabilitet og lav utlekking av plantenæringsstoffer fra selve biokullet bidrar biokull normalt ikke med betydelig gjødseleffekt. Biokull kan derimot påvirke jordas kjemiske egenskaper slik at plantenæringsstoffer som allerede finnes i jorda, blir mer tilgjengelige (Callegari & Capodaglio, 2018). Dette kan blant annet skyldes biokullets høye pH, som kan gi kalkingseffekt. Ved bruk på sur jord har forsøk vist bedre tilgjengelighet av både nitrogen og fosfor (Glaser & Lehr, 2019). Biokullets pH øker med økende temperatur i pyrolysereaktoren (Callegari & Capodaglio, 2018; Hossain m.fl., 2011). Det er dermed grunn til

å tro at pH-effekten kan virke mobiliserende i jordsmonnet, selv om både innholdet og plantetilgjengeligheten av nitrogen og fosfor synker ved høye temperaturer.

Resultater fra RenCARbio-prosjektet (Estevez m.fl., 2024; RenCARbio, 2023) er vist i Figur 9. Plantetilgjengelig fosfor måles enten som Olsen-P eller som P-AL, hvor Olsen-P er best egnet til å kvantifisere gjødseffekt og gir lavere konsentrasjoner enn P-AL. Kjemisk felling av avløpssvann gir lite plantetilgjengelig fosfor i slammet. Etter pyrolyse reduseres ikke nødvendigvis den plantetilgjengelige andelen av totalfosfor ytterligere, selv om total-P oppkonsentreres. For avløpsslam fra biologiske renseprosesser med lite fellingskemikalier vil plantetilgjengelig P kunne reduseres, selv om total-P oppkonsentreres etter pyrolyse. Forholdet mellom plantetilgjengelig P og total-P blir likevel redusert. Uorganiske salter øker ved pyrolyse, og fosfor stabiliseres i mer krystallinske forbindelser som reduserer plantetilgjengeligheten på kort sikt, men slambiomasse kan frigjøre fosfor over lengre tid (Bezabeh m.fl., 2025).



Figur 9. Innhold av jern og aluminium samt plantetilgjengelige P-fraksjoner målt som Olsen-P og P-AL, fra råslam, utrånnet slam og tilhørende slambiomasseprøver fra biologisk behandlet avløpsslam og kjemisk behandlet avløpsslam (RenCARbio 2023; Estevez m.fl., 2023).

Tilførsel av rent biokull kan i noen tilfeller føre til redusert planteopptak sammenlignet med jord uten biokull, fordi biokull kan påvirke tilgjengeligheten og retensjonen av næringsstoffer, særlig nitrogen, slik at mindre blir umiddelbart tilgjengelig for plantene. I tillegg kan mikroorganismer som koloniserer biokullet bruke opp tilgjengelig nitrogen, og økt pH kan i enkelte jordtyper redusere tilgjengeligheten av mikronæringsstoffer og fosfor.

For å unngå negative korttidseffekter av biokull bør biokullet lades før bruk, for eksempel ved å blande det med kompost, husdyrgjødsel eller ulike næringsløsninger. Da fylles porene i biokullet med næringsstoffer og mikroorganismer på forhånd, slik at det ikke trekker næring ut av jorda, men i stedet kan fungere som et lager for plantenæringsstoffer. Til opplysning tester NRVA (Nedre Romerike avløpsanlegg) en blanding av trebasert biokull med ammoniumsulfatkonsentrat fra inndampingsanlegget på Krogstad biogassanlegg. Blandingen tilsettes deretter avvannet avløpsslam før det går til landbruket. Biokull som produseres på IVAR (Stavanger) blandes med kompost fra REVE kompost før omsetning.

Oppsummert:

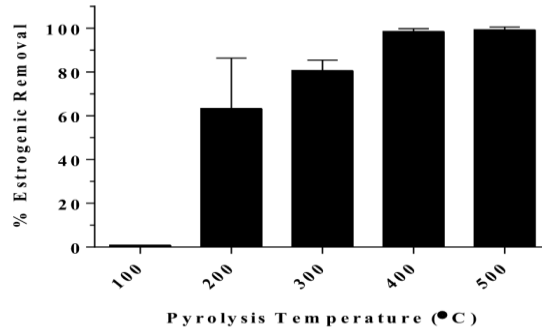
- I næringsfattige eller sure jordarter kan rent biokull ofte øke plantevekst over tid
- I næringsrik jord kan rent biokull gi midlertidig eller situasjonsbetinget redusert plantetilgjengelighet, særlig for nitrogen
- Negativ effekt av rent biokull er ofte sterkest rett etter tilførsel, før jordkjemien har stabilisert seg

Konklusjonen er at pyrolyse vil bevare fosfor i biokullet, og at fosfor oppkonsentreres ved økende pyrolysetemperatur. Fosfor blir mer plantetilgjengelig ved lavere pyrolysetemperaturer enn ved høyere. Nitrogen forsvinner i større grad ved høyere pyrolysetemperaturer, mens kalium oppkonsentreres på

samme måte som fosfor. Biokullet bør lades med næring, særlig nitrogen, for å redusere negativ effekt ved bruk som gjødselvarer.

5.1.3 Miljøgifter og andre mikroforurensninger

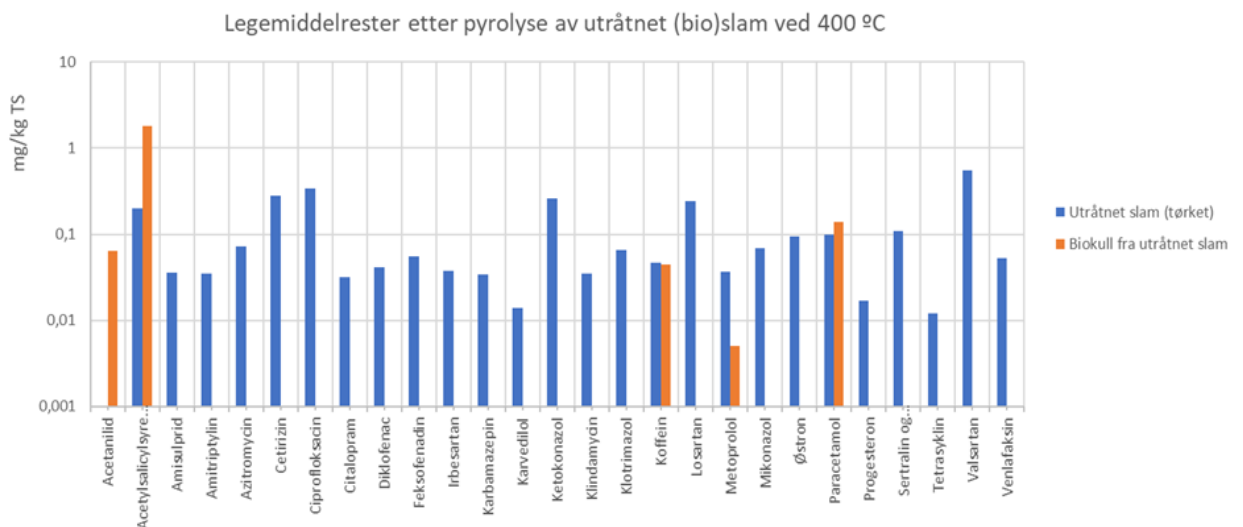
Pyrolyse kan være et godt alternativ for slambehandling dersom miljøgifter ikke kan fjernes ved kilden. Både mikroplast, legemiddelrester og en rekke organiske miljøgifter kan forventes å bli destruert (SINTEF, 2017; Draper, 2016; Paz-Ferreiro m.fl., 2018; Hoffman m.fl., 2016; Ross m.fl., 2016; Bundesumweltamt, 2019; Hoffman, 2015; Schleiderer m.fl., 2024). Figur 10 viser reduksjon av østrogeneffekt som funksjon av temperatur, og reduksjonen var >95 % og ca. 99 % ved henholdsvis 400 og 500 °C.



Figur 9. Reduksjon av østrogeneffekt i avløpsslam som funksjon av pyrolysetemperatur (Hoffman, 2015)

De høye temperaturene (>600–700 °C) i prosessen nøytraliserer patogener, i tillegg til å destruere de nevnte miljøfarlige stoffene (Miljøstyrelsen DK, 2023; Moško m.fl., 2021). Det er også rapportert at legemidler som er vanlige i avløpssvann, brytes ned ved pyrolyse ved temperaturer over 400 °C (Moško m.fl., 2021). I samme undersøkelse ble hormonforstyrrende stoffer fjernet ved temperaturer over 600 °C.

I RenCARbio ble 160 legemiddelrester og hormoner undersøkt før og etter pyrolyse av utrånnet slam. Slam er fra Bergen biogassanlegg og renseanlegg fra Stavanger. Resultater fra pyrolyse i pilotskala ved 400 °C i 60 minutter viste høy fjerning av de fleste legemidlene (85–99,9 %). Figur 11 viser resultater for 27 av de analyserte legemiddelrestene og hormonene, inkludert de 12 stoffene som er omfattet av det reviderte avløpsdirektivet (EU Commission, 2024).



Figur 11. Innhold av legemiddelrester i tørket utrånnet slam (blå) og tilhørende biokull (oransje) produsert ved pyrolyse ved 400 °C. Innholdet i biokullet var for de fleste stoffene <0,001 mg/kg TS (fjerningsgrad >95 %), med unntak for acetanilid, acetylsalisylsyre og paracetamol. Koffein ble ikke degradert, og metoprolol ble redusert med 86,5 %. Merk at y-aksen er vist i logaritmisk skala.

Fjerning av mikroplast ved lave pyrolysetemperaturer kan by på utfordringer, noe Qiu påviste i sin studie. Resultatene viste at mikroplast etter pyrolyse ved lav temperatur (400 °C) var utfordrende å fjerne (Qiu m.fl., 2024). Andre analyser viste at mikroplastkonsentrasjonene i avløpsslam sank betydelig fra 551–961 partikler/g til 1,4–2,3 partikler/g med økning i temperaturen til 500 °C, og at ingen små mikroplastpartikler (10–50 µm) var igjen. Polyetylen og polypropylen, de to mest forekommende mikroplasttypene i avløpsslam, ble fullstendig degradert da temperaturen nådde 450 °C (Bing-Jie Ni m.fl., 2020). Flere studier indikerer at en temperatur på 500 °C er nødvendig for effektiv fjerning av mikroplast i pyrolyseprosessen (Chiari m.fl., 2024; Bing-Jie Ni m.fl., 2020).

Det har vært usikkerhet om pyrolyse er et egnet alternativ for fjerning av PFOS og PFOA i avløpsslam, men nyere studier dokumenterer at pyrolyse kan redusere PFAS-forbindelser (Padhye m.fl., 2026; Keller m.fl., 2024; Sørmo m.fl., 2023; USEPA, 2020; Kundu m.fl., 2021).

Pyrolyse har vist seg å kunne eliminere over 90 % av PFOS og PFOA i avløpsslam. Teknologileverandøren AquaGreen oppgir at pyrolyse ved 650 °C i minst 10 minutter, etterfulgt av forbrenning av røykgassen, eliminerte syv ulike PFAS-forbindelser (Gustafsson m.fl., 2025). En annen teknologileverandør, Pyreg, oppgir at pyrolyse ved 600 °C i 10 minutter, etterfulgt av forbrenning av røykgassen ved 850 °C, eliminerer PFAS fra avløpsslam (Pyreg, 2023; Gustafsson m.fl., 2025). Andre studier viser at pyrolyse er en lovende metode for å redusere PFAS i avløpsslam, med høy reduksjon, og inkluderer massebalanser for over 56 ulike PFAS-stoffer som illustrerer fordelingen av gjenværende PFAS i biokull og utslipp. Det er imidlertid fortsatt usikkerhet knyttet til termiske nedbrytningsprodukter i røykgasser (Sørmo m.fl., 2023).

Tester utført ved et kommersielt anlegg (maks temperatur ca. 650 °C, 19 min) viste at ingen av de 21 ulike PFAS-forbindelsene i slammet kunne detekteres (Thoma m.fl. 2022). For å sikre fullstendig destruksjon (i det minste til under deteksjonsgrensen) og kontroll av nedbrytningsprodukter, bør analysene derfor ikke bare omfatte de opprinnelige PFAS-forbindelsene, men også en bredspektret analyse av mulige biprodukter. Det er viktig å være klar over risikoen for at kortere PFAS kan dannes som et nedbrytningsprodukt, noe som i det minste er rapportert i tilfelle forbrenning og pyrolyse av forurenset jord (Baresel m.fl. 2022). Dette gjør det vanskelig å evaluere eksisterende rapporter om fjerning av PFAS ved pyrolyse fordi analyser av kortere PFAS-forbindelser ikke er utført. Baresel m.fl. (2022) anslår at en temperatur på minst 900 °C er nødvendig for å dekomponere PFAS, noe som ofte oppnås i det andre trinnet av pyrolysen – forbrenning av pyrolysegassen.

PAH (polysykliske aromatiske hydrokarboner) kan dannes i et pyrolyseanlegg under visse prosessforhold og bør overvåkes i henhold til gjeldende grenseverdier for å identifisere eventuelt behov for justering av prosessforholdene (Miljøstyrelsen DK, 2023; Sørmo m.fl., 2024). Til tross for at PAH kan dannes i pyrolyseprosessen, brytes de ned igjen når temperaturen overstiger 350 °C, og restene inngår som ufarlige bestanddeler av biokullet. Ifølge SINTEF representerer derfor biokull dannet ved temperaturer over 350 °C ingen risiko med hensyn til PAH (SINTEF, 2017). Pyrolyseleverandøren AquaGreen hevder at PAH destrueres ved pyrolyse i 30 minutter ved 650 °C (AquaGreen, 2021), og en polsk studie dokumenterer at pyrolyse kan redusere PAH-innholdet i slam fra avløpsrensseanlegg med 87,5–96 % (Zielinska & Oleszczuk, 2015).

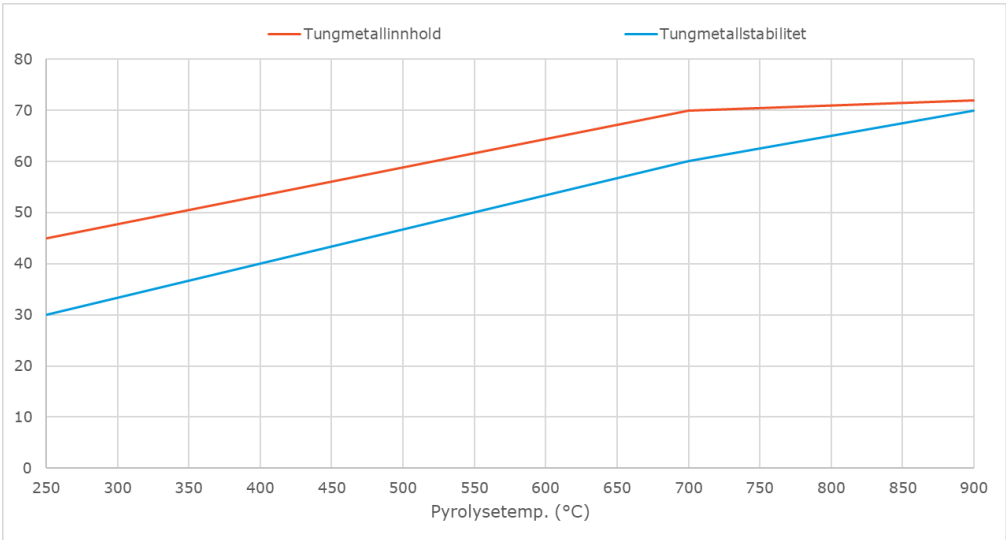
Konklusjonen er derfor at pyrolyse kan være en god løsning for å fjerne en rekke organiske miljøgifter. Det er ikke høye konsentrasjoner av miljøgifter i avløpsslammet fra Bekkelaget som tilsier at det er behov for å redusere innholdet av miljøgifter i avløpsslammet, og avløpsslammet tilfredsstiller i dag grenseverdiene i gjødselvarselskriften.

5.1.4 Tungmetaller

Tungmetaller i slammet vil, avhengig av flyktighet, fordele seg mellom biokull og pyrolysegass. Mindre flyktige tungmetaller, som Cu, Pb, Zn og Cr, og uorganiske forbindelser fra slammet konsentreres i biokullet (Djandja m.fl., 2020; Liu m.fl., 2014). Flyktige tungmetaller, som Hg, Cd og As, vil typisk følge pyrolysegassen og kan samles opp i filtre for avhending ved behov (Li m.fl., 2022; Miljøstyrelsen DK, 2023). Kvikksølv har vist seg å kunne separeres ut ved 200–400 °C (Liu m.fl., 2022). Svenske forsøk med slampyrolyse i et kommersielt anlegg har vist at tilstrekkelig høye pyrolysetemperaturer, opptil 800 °C, kan separere mesteparten av kadmiumet fra avløpsslam (Paulsson, 2020). Også i pyrolyseforsøk med tysk avløpsslam er det observert betydelig kadmiumfjerning ved pyrolyse over 750 °C (Bahr, 2016). Ved

temperaturer mellom 600 og 700 °C har teknologileverandøren AquaGreen observert 70 % kadmiumfjerning, og enda høyere nivåer for avløpsslam med høyere klorinnhold (Gustafsson m.fl., 2025). Tabell 5-2 gir en oversikt over ulike tungmetallers flyktighet ved ulike pyrolysetemperaturer.

Konsentrasjonen av tungmetaller vil generelt være høyere i biokull enn i det opprinnelige substratet ved økende temperatur i pyrolyseprosessen, men samtidig blir tungmetallene mer stabile og mindre plantetilgjengelige jo høyere temperaturen er i pyrolysereaktoren (Sørmo m.fl., 2024b, Tian m.fl., 2019, Wang X. m.fl., 2016) (Wang m.fl., 2016), (Jin m.fl., 2016) og (Liu m.fl., 2014). Dette er illustrert i Figur 10. Noen tungmetaller reduseres som følge av høy temperatur, hvor "knekken" på kurven for tungmetallinnhold illustrerer at noen metaller når kokepunktet og følger dermed med pyrolysegass ut av pyrolyseovnen.



Figur 10. Illustrasjon av tungmetallinnhold og -stabilitet som funksjon av temperatur i en pyrolyseprosess.

Tabell 5-2 Skjematisk oversikt over ulike tungmetallers flyktighet ved ulike pyrolysetemperaturer.

Metall	Start på merkbar volatilitet	Høy volatilitet / delvis fordamping	Kommentar
Hg (kvikksølv)	<150 °C	150–300 °C	Svært flyktig – fordamper tidlig
Cd (kadmium)	~500–600 °C	>600–700 °C	Kan delvis fordampe som metall/klorid
Zn (sink)	~500–700 °C	>700 °C	Danner flyktige forbindelser
Pb (bly)	~600–700 °C	>850 °C	Mer stabil, men kan fordampe ved høy temperatur
As (arsen)	~500–600 °C	600–800 °C	Kan danne flyktige oksider/klorider

Tilførsel av biokull kan føre til redusert mobilitet av tungmetaller som allerede finnes i jordsmonnet. Dette skyldes blant annet adsorpsjon til biokullets overflater, binding til funksjonelle grupper og utfelling i porestrukturen (Mendez m.fl., 2012; Tan m.fl., 2014). Adsorpsjonskapasiteten øker ofte med økende pyrolysetemperatur, noe som sannsynligvis henger sammen med økt porøsitet og større spesifikk overflate ved høyere temperaturer (Wallace m.fl., 2023; Jin m.fl., 2016).

Som det fremgår av diskusjonen ovenfor, oppkonsentreres tungmetaller i pyrolyseprosessen ved at mye av det organiske stoffet drives av, mens tungmetallene blir værende i biokullet. Dersom utgangsmaterialet har relativt høy sinkkonsentrasjon, kan sinkinnholdet i slambiomkull øke til over grenseverdien for bruk av slam i jordbruket (Blytt m.fl., 2021). Beregninger ble gjennomført for utrånnet slam fra Fuglevik renseanlegg i Moss kommune.

I forhold til bruksverdier fastsatt av European Biochar Foundation (EBF) vil biokull fra slam ofte også ha utfordringer med kobber (Cu), kadmium (Cd) og kvikksølv (Hg). Cd og Hg kan fordampe dersom temperaturen i pyrolysereaktoren er høy nok, og vil sannsynligvis kunne komme under grensene satt av EBF (EBC, 2022).

Samlet sett vurderes tungmetaller å være en betydelig utfordring ved bruk av biokull basert på rent avløpsslam i landbruket, selv om litteraturen viser høy metallstabilitet, lavt planteopptak og begrenset utlekking. Dersom slam pyrolyseres sammen med trevirke, vil tungmetallkonsentrasjonen i slambiomkullet sannsynligvis ikke overskride grenseverdiene for bruk i landbruket. Denne antakelsen er basert på resultater fra forsøk hos Lindum med en blanding av utrånnet avløpsslam fra Bekkelaget (32 %), vannverkslam (8 %) og trevirke (60 %).

Det kan forventes at en eventuell end-of-waste-status for biokull basert på avløpsslam ligger flere år frem i tid. End-of-waste innebærer at et avfallsmateriale opphører å være avfall når det oppfyller fastsatte krav til kvalitet, sikkerhet og anvendelse, og dermed kan håndteres som et produkt i stedet for som avfall. Innenfor EUs gjødselregelverk kan produkter som oppfyller kravene til en bestemt produktkategori CE-merkes (Conformité Européenne, fransk for europeisk samsvar). Selv om det fortsatt kan ta tid før biokull basert på avløpsslam kan omfattes av slike produktordninger på europeisk nivå (Chiari m.fl., 2024), kan bruk av slambiomkull i Norge vurderes innenfor eksisterende regelverk. Dersom biokullet skal brukes som gjødsel eller jordforbedringsmiddel, må det oppfylle krav til blant annet innhold av forurensninger og produktkvalitet tilsvarende kravene som stilles til avledede produkter fra avløpsslam.

Biokull fra slam kan EBC-sertifiseres som ingrediens i byggematerialer, kompositter og betong (CharCrete), se Vedlegg I Råvarer EBC-biomkull. Slambiomkull kan også oppnå karbonkreditter, forutsatt at hele verdikjeden er sporbar.

Slambiomkull vil sannsynligvis ikke være egnet som reduksjonsmiddel i smelteverk, ettersom slike anlegg krever kull med lavt askeinnhold, lavt innhold av fosfor, svovel, jern og aluminium samt svært lavt innhold av kobber, sink og bly.

5.2 Pyrolyseleverandører – status

Det finnes flere leverandører av ulike pyrolyseteknologier. Tabell 5-3 viser en sammenstilling av leverandører i markedet. I siste kolonne oppgis TRL (Technology Readiness Level), som angir teknologiens modenhet. Skalaen er TRL 1–3 for forskning/konsept, TRL 4–7 for pilot/demonstrasjon og TRL 8–9 for kommersiell teknologi/i drift. Fullskalateknologiene fra leverandørene i tabellen er basert på kontinuerlige prosesser, mens pilot- og demonstrasjonsanlegg i liten skala ofte er batchbaserte. Tabell 5-3 Leverandører av ulike pyrolyseteknologier for ulike typer råstoff

Leverandør	Land	Pyrolyseteknologi og ev. tørketeknologi	Erfaring med råstoff	Temperaturområde med mest erfaring	Form for energiutbytte	Referanser til kommersielt anlegg	TRL
WAIES AS	Norge/Kina	Uten integrert tørking	Trevirke/slam Skogavfall til biokarbon	350–900	300 kg TS/time (demonstrasjon for biokarbon)	Kina/Polen	8
Arbion (tidl. Scanship/VOW-ETIA/Biogreen)	Norge/Frankrike	Skrueaktor / elektrisk oppvarming <i>Arbion bruker tørke fra CH-Evensen Rotary Kiln på Follum</i>	Trevirke/slam Skogavfall til biokarbon	750	0,7 tonn TS/time = 1 200 kW	Pilot hos Lindum Ett anlegg i Japan (slam) Flere anlegg for trevirke/flis Ett anlegg på Follum (Arbion Biocarbon)	9
Standard Bio AS	Norge	elektrisk oppvarming	Trevirke			Pilot	6
Aquagreen	Danmark	Integrert tørking (damp)/kontinuerlige Sakte pyrolyse	Slam	650	2 MWhth/per tonn slam TS	Fire i DK En i Sverige Mange pilot i DK og SE	9
Frichs Pyrolysis ApS	Danmark	Flashpyrolyse	landbruksavfall/husdyrgjødsel/slam	Flashpyrolyse 800-900	2 MWhth	To i DK	8
Pyreg GmbH	Tyskland	uten tørking Skrueaktor/indirekte oppvarming	Slam	500-800	560 kg TS/time = 900 kW (termisk)	Mange mest i Tyskland	9
NGE (Pyrodry/Aquagain)	Østerrike	Integrert tørking og pelleteringsmaskin Skrueaktor <i>PyroDry eller PyroPower</i>	Slam/husdyrgjødsel	700	2800 tonn avvannet slam/år = 900 kW (termisk/CHP)	Minst fire	9
Biomaccon GmbH	Tyskland		Trevirke/parkavfall			Sandes kommune / IVAR og Ringsaker (OBIO) Norge	9
Envigas	Sverige		Trevirke for biokull			To og ett Pilot-anlegg	8
Pyrocal	Australia	<i>Rotary Kiln</i> / direkte oppvarming Rask pyrolyse	Slam/trevirke	Rask pyrolyse 500-800	1,3 tonn TS/time = 4330 kW	To for slam, mange på trevirke	9
Hellenes Industries AS	Norge		Slam/trevirke			Pilot i Sunnfjord	5
Airex Energy	Canada	Skrueaktor/indirekte oppvarming	Slam/landbruksavfall/trevirke			Minst to	8
CarboFex	Finland	kontinuerlige, saktegående pyrolyse, skruereaktorer	Trevirke/chips	500-700	500 kg TS/time = 1 MW (termisk/fjernvarme)	Pilotanlegg	6

5.3 Pyrolyseprosesser for ulike avfallsressurser

5.3.1 Mottak og forbehandling av avfallsressurser

Utråtnet avløpsslam

Pyrolyse av avløpsslam generelt er utfordrende, og erfaring er at slammet bør pelleteres før pyrolyse. Utråtnet avløpsslam avvannes på Bekkelaget renseanlegg til ca. 28 % TS før det kjøres ut. Det er ikke ønskelig å benytte selve pyrolysereaktoren til å tørke slammet, men at det er tørt nok til at det kan pyrolyseres direkte. Slammet bør derfor ytterligere avvannes og tørkes ned til ca. 80% TS. Det kan skje ved bruk av mer karbonrikt materiale som treflis i kombinasjon med tørking. Hvis man velger å kombinere ytterligere avvanning og tørking vil man få et rejektivann som må behandles. Optimal avvanning vil gi lavere tørkekostnader.

Vannverksslam

Vannverksslam har betydelig andel vann etter avvanning, og det er vanskelig å avvanne ytterligere enn ca. 20 % TS. Dersom vannverksslam skal benyttes må det tørkes, eller blandes med tørt materiale.

Treverk og hage- og parkavfall

Det finnes forskjellige teknologiske løsninger for preprosessering av treverk. En mulighet er å starte med en kvern som reduserer partikkelstørrelsen til <30 mm. Før treverket sendes inn i kverna må fremmedlegemer som større steiner eller metallgjenstander fjernes. Det kvernede treverket renses videre for jernholdige gjenstander ved hjelp av magnet. Så sendes det gjennom en trommelsikt der partikler <8 mm, for eksempel sand, småstein, jord og noe organisk materiale fjernes. Det siste steget i preprosesseringen er en vindsikt som deler massen inn i tre fraksjoner; lett masse, tung masse og masse til pyrolyse, alle med partikkelstørrelse 8-30 mm. Den tunge fraksjonen inneholder grus, stein, glass og metall. Den lette fraksjonen inneholder plast, tekstil, papir og noe organisk materiale.

For hage- og parkavfall vil det være nødvendig med kverning og sikting som forbehandling. Avfallsressursen består av en blanding av grener, løv og en høy andel overflødig jord. forskjellige former av plast og metall finnes også ofte i blandingen. Fjerning av forurensninger og reduksjon av størrelse vil være en nødvendig forbehandling før pyrolysen. Plastforurensninger konverteres til pyrolysegass i pyrolyseprosessen. Metaller og mineralforurensninger som er innenfor størrelsesspesifikasjonene passerer gjennom prosessen i biokullstrømmen. Partiklenes størrelse er viktig for pyrolyse da mindre partikkelstørrelse kan gi høyere konversjonseffektivitet (omdannings-effektivitet), men kostnaden og energiforbruket ved å redusere størrelse er viktige faktorer å ta hensyn til (Kabir m.fl., 2015).

Matavfall

Kildesortert matavfall er ikke vurdert i denne rapporten særskilt, fordi dette er en avfallsressurser som i dag går til Romerike biogassanlegg, og det har en verdikjede som allerede er godt etablert. Vi har lagt til grunn at selv om kommunen har solgt anlegget vil ikke det påvirke dagens nedstrømsløsninger for denne fraksjonen.

Fra forbehandling av matavfall for å sortere ut fremmedelementer får man et rejejt, og dette går til forbrenning med energigjenvinning. Det er kjent at ulike biogassanlegg har vurdert pyrolyse av denne fraksjonen, spesielt dersom det inneholder mye matavfall. Det er gjennomført forsøk der man har pyrolysert rejejtet, og resultatene viser at organiske miljøgifter blir fjernet (Sørmo m.fl., 2024a). Hvorvidt biokullet kan nyttiggjøres, er ukjent, men trolig ikke da plastandel i råvaren er høy.

I tillegg finnes det finfraksjon fra sentralsorteringsanlegg som inneholder mye organisk stoff. Dette avfallet går også til forbrenning med energigjenvinning. Det er ikke kjent om dette stoffet er egnet for pyrolyse, men det er nok trolig egnet. Hvorvidt biokullet får bruksegenskaper som kan bli nyttiggjort, er ukjent.

Papir

Papir går i dag til materialgjenvinning og i denne rapporten har vi ikke vurdert papir for produksjon av biokull. Det er gjennomført laboratorietester med pyrolyse av papir (Negaa m.fl., 2023) og utbyttet var 11-25 kg biokull fra 30 kg papir ved temperatur på 167°C (sakte pyrolyse). Kvaliteten på biokullet er ukjent.

5.3.2 Lagring og tørking

Den forbehandlede avfallsressursen bør ha et separat lagringsvolum som buffer og volum for homogenisering før eventuell tørking. Homogenisering skjer før eller ved innmating til buffervolumet. Fra dette volumet kan biomassen transporteres ved hjelp av transportskruer til tørkingen.

Det finnes mange metoder for tørking. Det kan tørkes indirekte eller direkte ved hjelp av for eksempel røykgass, damp eller varmluft i en rekke forskjellige maskiner. Her kan nevnes beltetørker, trommel eller skovltørker.

Indirekte oppvarmet trommeltørke har på nåværende tidspunkt blitt vurdert som mest hensiktsmessig. Her tørkes slam/bioresten før den sendes inn i pyrolysereaktoren. Tørken er indirekte oppvarmet av røykgass fra pyrolyse-kammeret. Røykgassen kommer ikke i direkte kontakt med bioresten, men varmen kan allikevel anses som direkte benyttet da den ikke overføres til et annet medium først, for eksempel damp, varm luft eller olje. På denne måten reduseres prosessens kompleksitet.

Dersom tørken er indirekte oppvarmet med røykgass kan volumstrømmen av ventilasjonsluft som passerer gjennom den reduseres. Denne volumstrømmen måtte vært mye høyere dersom den også skulle benyttes til tørking av biorest. En lav volumstrøm av ventilasjonsluft muliggjør design av en kompakt prosess.

Ved å benytte indirekte tørking kan temperaturen i røykgassen holdes høy, noe som øker potensialet for mer effektiv gjenvinning av varme nedstrøms i prosessen. Skulle røykgassen blitt benyttet ved direkte tørking måtte den blitt kjølt ned først. Indirekte oppvarming av biorest i tørken og bruk av ventilasjonsluft fra tørken ved termisk oksidasjon har også den fordelen at forbrenningstemperaturen kan senkes siden lufta tilføres fuktighet i tørkettrinnet.

Ventilasjonslufta fra tørken resirkuleres i en ringledning. Herfra blir lufta sjaltet til reaktoren og brukt som forbrenningsluft. På denne måten vil all luft som kommer i kontakt med substratet gjennomgå en fullstendig forbrenning og utfordringer knyttet til luft minimeres. Det medfører også hyppig utskiftning av ventilasjonsluft slik at denne blir i stand til å ta til seg tilstrekkelig fuktighet fra substratet når det passerer gjennom tørkettrinnet. Ved dette prinsippet blir også all vandamp fra tørkingen ende opp i røykgassen, og mer varme vil kunne gjenvinnes i røykgasskondensatoren.

Temperaturen i tørken styres ved justering av mengden røykgass som sjaltes til tørken. Røykgassvifter nedstrøms av tørken opprettholder et undertrykk og luftmengden reguleres oppstrøms med spjeld (en for hver tørker). Temperaturen i røykgassen kan også justeres ved resirkulering av nedkjølt røykgass som allerede har passert gjennom tørken.

Avhengig av hvilken pyrolyseteknologi som anvendes tilstrebes det å få substratet opp til et tørrstoffinnhold på 80 %.

Tørking i dette tørrstoffområdet og med partikkelstørrelser som ligner på pellets er å foretrekke, materialer som har blitt grundig malt og tørket i form av fint støv vil være knyttet til både tunge vedlikeholds- og sikkerhetsproblemer på grunn av den elektrostatiske ladningen og den tilhørende eksplosjons- og brannfaren.

Skruetransportør fører substratet til pyrolysereaktoren gjennom en luftsluseventil.

5.3.3 Pyrolyse og termisk oksidasjon

Pyrolyse og termisk oksidasjon er de mest sentrale prosesstrinnene for å produsere biokull.

Pyrolysereaksjonene er endotermiske og krever energi. Forskjellen på alternativene for teknologi er energikilden og måten energien tilføres prosessen. Driftsbetingelsene avhenger av type avfallsressurs, pyrolyseteknologi og målsetninger med hensyn til sluttprodukt av og marked.

Alternativene for å få energien som trengs til pyrolyse er: Direkte oppvarming (eksempel Pyrocal), indirekte oppvarming (eksempel Pyreg/Airex) og elektrisk oppvarming (eksempel ETIA / WAIES).

Termisk oksidasjon brukes til å oksidere pyrolysegassen i nærvær av oksygen, slik at organiske forbindelser omdannes hovedsakelig til CO₂ og H₂O. Den frigjorte varmen kan gjenvinnes og benyttes til oppvarming av pyrolysereaktoren og andre deler av prosessen. På denne måten kan pyrolyseprosessen bli

delvis eller helt selvforsynt med energi, avhengig av fuktighet i materialet, energibehovet til tørking og hvor effektivt overskuddsvarmen utnyttes.

Direkte oppvarming

Ved direkte oppvarming menes det at deler av det organiske materialet forbrennes i pyrolysereaktoren. En liten luftstrøm må derfor tilføres reaktoren. Forbrenningen frigir den energien som er nødvendig for å opprettholde og drive pyrolysen. Temperaturen i reaktoren kontrolleres ved regulering av lufttilførselen. Brennbare gasser i luften forbrennes fullstendig slik at reaktoren allikevel forblir oksygenfri og pyrolyseaksjonen kan finne sted. Korrekt regulering av lufttilførsel forsikrer at det er nok luft til forbrenning av flyktige komponenter i det organiske materialet, men ikke nok til at karbonet forbrennes slik at dette blir pyrolysert.

Indirekte oppvarming

Ved indirekte oppvarming er det den varme røkgassen som varmer opp pyrolysereaktoren og driver pyrolysen.

Den tørkede biomassen tilføres reaktoren i den ene enden, og biokull hentes ut i den andre. Pyrolysegassen fra en eller flere parallelle pyrolysereaktorer føres til en felles gassbrenner. Som prinsipp for direkte oppvarming blir gassen rensed i syklon der større partikler fjernes før forbrenning. Temperaturen i pyrolysereaktoren kontrolleres ved regulering av mengden røkgass som sendes til reaktoren.

Lufta som tilføres gassbrenneren forvarmes ved hjelp av røkgass. Mengden luft som tilføres brenneren reguleres ved regulering av oksygeninnholdet i røkgassen slik at forhold for fullstendig forbrenning av pyrolysegassen optimaliseres. Den varme røkgassen som forlater gassbrenneren føres til enheter for varmegjenvinning og røkgassrensing.

Elektrisk oppvarming

Noen pyrolyse-prosesser benytter seg ikke av den kjemiske energien lagret i det organiske materialet til å drive pyrolyseaksjonen. I stedet benyttes elektrisitet. Selskaper basert på elektrisk oppvarming påstår at prosessen deres tillater en høyere grad av fleksibilitet med hensyn til å tilpasse produktet til spesifikke forespørsel i markedet. De fokuserer på et sluttprodukt med høyest mulig kvalitet.

Pyrolysereaktoren er i prinsipp en isolert skruetransportør med en elektrisk oppvarmet transportskrue, se eksempel fra ETIA-Biogreen i Figur 11. Det organiske materialet mates inn i transportøren i den ene enden og presses gjennom til den andre siden av den oppvarmede skruen. Temperaturen i skruen kan reguleres nøyaktig, og oppholdstiden kan kontrolleres ved regulering av skruens omdreiningshastighet.



Figur 11. Prinsippskisse av ETIA-Biogreen's spirajoule pyrolysereaktor

Oppholdstiden er 15-20 minutter. Pyrolysegassen fra reaktorene føres til felles gassbrennere. Som for de to andre konseptene filtreres partikler ut av røkgassen ved hjelp av syklon oppstrøms av brennerne. Den varme røkgassen etter at pyrolysegassen er brent føres videre til røkgassrensing og varmegjenvinning. Lufta som tilføres gassbrennerne forvarmes ved bruk av varm røkgass. Mengden luft som tilføres brenneren reguleres ved regulering av oksygeninnholdet i røkgassen slik at forhold for fullstendig forbrenning av pyrolysegassen optimaliseres.

5.3.4 Etterbehandling av biokull

Hovedformålet med etterbehandlingen av biokullet er å slukke det ulmende biokullet og å kjøle det ned til omkringliggende temperatur. Det er også støv-bindende og forhindrer en potensielt farlig utvikling av støv ved biokullets utløp fra reaktoren. Etterbehandlingen varierer mellom de forskjellige pyrolyseprosessene. En risiko ved sprøyting av vann direkte på det ulmende biokullet er at vannet kan reagere med karbon og produsere hydrogen, CO₂ og CO. Denne risikoen kan reduseres ved å la biokullets temperatur synke til <300 °C før man lar det komme i direkte kontakt med vann.

Behandling ved direkte oppvarming: Det varme biokullet bråkjøles i denne prosessen allerede i bunnen av pyrolyse-reaktoren. Dette gjøres ved at vann sprøytes på det ulmende kullet. Kullets fuktinnhold heves til omtrent 30 % og temperaturen senkes til omtrent 50 °C. Det er undertrykk i reaktoren, forårsaket av luftstrømmen til gass-brenneren. All H₂, CO og CO₂ som utvikles ved kontakt mellom kull og vann blir dermed sugd opp med pyrolysegassen og går til forrenning i gassbrenneren. Energiinnholdet i gassen som utvikles utnyttes slik på en effektiv måte i trinn for varme-gjenvinning.

En skruetransportør mater kullet enten inn i et automatisk sekke-anlegg eller til en silo for mellomlagring.

Behandling ved indirekte eller elektriske oppvarming: Det varme biokullet faller fra pyrolyseaktorene gjennom en luftsluseventil til en dobbeltvegget skruetransportør. Det går kjølevann mellom transportørens ytter- og innervegg, og biokullet kjøles ned til omtrent 40 °C. Etter utløp fra skruetransportøren sprøytes biokullet med vann. Kullets temperatur senkes ytterligere og fuktinnholdet heves til 10-30 %.

En skruetransportør mater kullet enten inn i et automatisk sekke-anlegg eller til en silo for mellomlagring.

5.3.5 Behandling av røykgass og fjernvarmeproduksjon

Etter at røykgassen har blitt benyttet som varmekilde internt, sendes den til en rør-i-rør varmeveksler der den kan avgi varme til for eksempel fjernvarmenettets tur-strøm. Se Figur 1 i kapittel 5.1.

Etter varmeveksling mot for eksempel et fjernvarmenett føres røykgassen gjennom et partikkelfilter som reduserer partikkelinnholdet i røykgassen til <250 mg/Nm³. Så føres den til en våtvasker for fjerning av resterende partikler og andre bestanddeler, som HCl (saltsyre), SO₃ (svovelsyre) og HF (flussyre). Røykgassen mettes med vann og temperaturen reduseres til duggpunktet. Våtvaskeren forsynes med kondensat fra røykgasskondensator. Avløpsvannet fra våtvaskeren blandes med resterende vann fra kondensator og nøytraliseres med lut. Dette avløpsvannet må så behandles i et renseanlegg.

Etter våtvaskeren sendes røykgassen til en kondensator (rør-i-rør varmeveksling). Vanndamp i røykgassen kondenserer ved hjelp av varmeveksling mot et kjølemedium, for eksempel fjernvarme retur. Kondensatet kan resirkuleres gjennom varmeveksleren for økt effektivitet og utnyttelse av energi. Røykgassen trekkes gjennom dette systemet av røykgassvifter som opprettholder et undertrykk. Til slutt slippes røykgassen ut gjennom skorsteinen.

5.4 Pyrolysetemperatur for ulike produktkategorier og bruk

Pyrolysetemperaturen har praktiske implikasjoner for bruksområdene til biokull. Ved å justere pyrolysetemperaturen er det teoretisk mulig å skreddersy egenskapene til biokull for spesifikke formål. Når det gjelder avløpsslam, vil lavtemperaturbiokull være generelt mer egnet som jordforbedringsmiddel på grunn av mer tilgjengelig plantenæringsstoffer (Gustafsson m.fl., 2025, Estevez m.fl. 2024, RenCARbio, 2023). Høytemperatur biokull kan blant annet fungere bedre som et filter for organiske miljøgifter (Zhang m.fl. 2015), stoffer med negative ladningsflater, og har større potensial som karbonlagring (Mašek m.fl. 2019; Zhang m.fl. 2015). Det er imidlertid viktig å merke seg at standardteknologi ofte er designet for å fungere innenfor et smalt temperaturområde, noe som kan gjøre det vanskelig å justere temperaturen i etterkant. Når det gjelder avløpsslam, er det også ofte krav om å oppnå en viss separasjon av forurensende stoffer under pyrolysen, noe som setter ytterligere begrensninger på lavest mulig temperatur, avhengig av det spesifikke slaminnholdet (Gustafsson m.fl., 2025; Chiari m.fl., 2024).

6 Muligheter for bruk av biokull

6.1 Bruksområder

Biokull er et verktøy i overgangen til en mer sirkulær økonomi og langsiktig klimatiltak. Organiske reststrømmer som slam, treavfall og hage- og parkavfall kan gjennom pyrolyse omdannes til et stabilt og nyttig produkt. Dette reduserer avfallsvolum og bidrar til bedre utnyttelse av ressurser som karbon og fosfor og andre næringsstoffer. Visse tungmetaller kan også bli redusert i biokull ved pyrolyse som arsen, bly, kadmium, kvikksølv, sink, (Saffari, Moazallahi, & Mashayekhi, 2025) og PFAS (Wallace, et al., 2023). Biokull kan også brukes som mellomlager for næringsstoffer og inngå i løsninger for gjenvinning og kontrollert tilbakeføring av disse til kretsløpet, forutsatt at kvalitet og regelverk tillater det. Videre er det gjennomført forsøk med bruk av biokull fra avfallsressurser for rensing av ulike miljøgifter i jord, og som tilsatts i betong for å redusere CO₂ fotavtrykket i betongproduksjon samt reduksjonsmiddel i smelteverk for å erstatte fossilt kull.

For flere bruksområder er det nødvendig at biokullet etterbehandles etter pyrolyse, eksempelvis ved pelletering, lading med næringsstoffer eller aktivering (med damp), for å sikre at materialets egenskaper er tilpasset det aktuelle formålet.

6.1.1 Biokull som næringsmiddel og fôr

Biokull kan anvendes som kosttilskudd og fôrtilskudd, men har strenge regler hva angår råvarer. Biokull som fôr-tilsetning støtter fordøyelsen og beskytter dyra for visse sykdomsfremkallende stoffer og smittestoffer. Det kan brukes til alle typer husdyr.

- OBIO på Rudshøgda produserer biokull med ulike egenskaper for landbruket. Biokullet er sertifisert for bruk i fôr. Det er tilskuddsordninger i landbruket i fem fylker (Trøndelag, Innlandet, Vestfold, Telemark og Rogaland) per 2026 for å bruke biokull i landbruket, herunder fôr da husdyrgjødsel med biokull havner i jorda til slutt. Kullet som benyttes har 75-80% tørrstoff og 93 % karbon.

6.1.2 Bruk av biokull som rotemateriale og underlag for husdyr

Obio har gjennomført praktiske tester med bruk av biokull som rotemateriale for gris, og erfaringene viser at biokull fungerer svært godt. Biokull reduserer fukt og lukt i bingene, forebygger halebiting og gir god dyrevelferd, samtidig som grisene viser stor interesse for materialet som aktivitets- og rotestoff. Biokull brukes også som strø- og liggemateriale for storfe, der det bidrar til tørrere talle, bedre hygieneforhold og økt komfort. Obio rapporterer gode erfaringer fra bruk i storfefjøs, blant annet gjennom rådgiving og webinarer om biokull i fjøs. Hvis man skal bruke biokull i fjøs må kvaliteten være god, spesielt fremmedelemerter som spiker og glass mm må være fjernet. Avfallsressurser kan derfor ikke anbefales hvis ikke man har god produksjonskontroll.

6.1.3 Jordforbedring - landbruk og grøntanlegg

Biokull kan brukes som jordforbedringsmiddel i landbruk, hagebruk og grøntanlegg. Materialets porøse struktur bidrar til bedre jordaggregater, økt vannholdingsevne og mer stabil lagring av næringsstoffer. Dette kan gi bedre vekstforhold for planter, særlig i sandholdige eller næringsfattige jordarter. Biokull kan også redusere tap av nitrogen og fosfor fra jordsmonn. I tillegg fungerer biokull som et langsiktig karbonlager i jord, ettersom karbonet er stabilt over svært lange tidsperioder. I urbane miljøer kan biokull benyttes i tekniske jordblandinger, parker, grønne tak og andre grøntanlegg. Siden biokull er brennbart, må man vurdere sikkerhet ved ulike bruksområder, eksempel takkonstruksjoner. Sikkerhet knyttet til biokull er omtalt i kapittel 7.3.

I et forsøk gjennomført av NIBIO (Joner, 2022) testet de biokull på intensive grønne tak og fant positive effekter for jordblandingen med økende mengder og mer finkornet biokull. Disse takene ga langsommere utlekking av vann og biokullet reduserte sammensynking av jordlaget, kun to cm over tre år fra opprinnelig 35 cm. For planten bergknapp hadde økende biokullinnhold i jorda negativ effekt.

I dag finnes det biokull på markedet som retter seg mot denne bruken. De er ofte basert på flis fra skog, men også på avfallstrevirke og hage- og parkavfall.

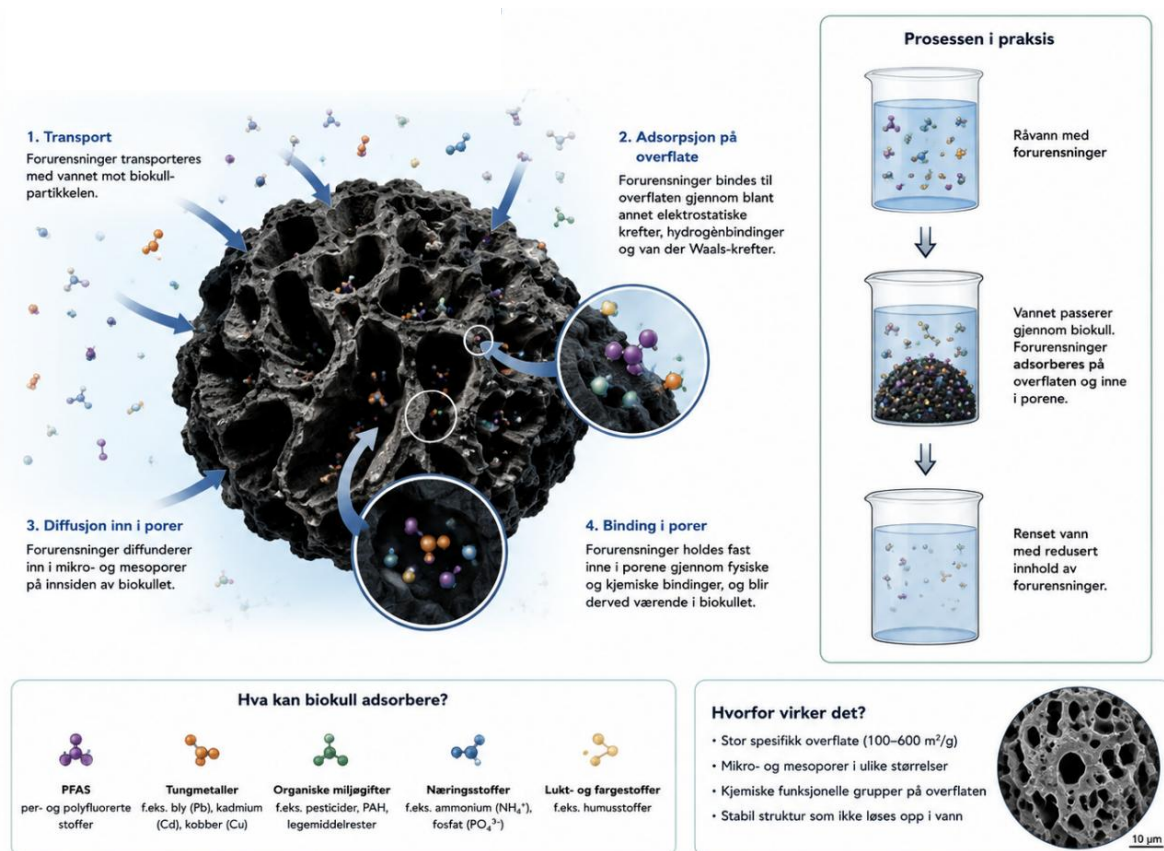
- I Sandnes kommune, på anlegget på Vatne, bygget de en pilot for hage- og parkavfall og fikk god erfaring med å benytte biokull sammen med mer næringsrik kompost i kommunens grøntanlegg. Leverandøren er Biomacon type Biomacon C100-I. Sandes kommune produserte 200-300m³ biokull i året
- Ifølge sluttrapporten fra klimasatsprosjektet fra Miljødirektoratet (Miljødirektoratet 2020) og Sandes kommunes hjemmeside (Sandens 2025), er IVAR i gang med innkjøring av et nytt, større pyrolyseanlegg basert på hage- og parkavfall ved Hogstad-anlegget i Sandnes kommune. Anlegget, en Biomacon C400-I, har en forventet årsproduksjon som er omtrent fem ganger større enn pilotanlegget i Vatne, med en kapasitet på ca. 5 m³ per dag hvor overskuddsvarme estimert til å være 10 MWh per døgn. Sandnes kommune har inngått en intensjonsavtale med IVAR om kjøp av biokull. IVAR antyder at markedsprisen på biokull varierer mellom 600 og 3 500 kroner per m³, avhengig av kvalitet og geografisk plassering, og det forventes en prisøkning fremover.
- Obio AS, tidligere Opplandske Bioenergi, har hatt pyrolyseanlegg fra 2021 (Biomacon) og har utvidet kapasiteten i 2024 (Biomacon). De har en produksjonskapasitet på 2700 m³ biokull per år og 5 GWh restvarme som brukes til nærliggende industri. Obio bruker kun trevirke fra skog i sin produksjon. OBIO har sertifisert biokull. Obio produserer sertifisert biokull for ulike formål herunder til landbruket som jordforbedringsmiddel.
- Øvre Romerike Avfallsselskap (ØRAS) produserer biokull basert på ubehandlet treverk som de mottar på miljøstasjonen. Pyrolyseanlegget erstatter tidligere flisfyringsovn og varmen brukes til oppvarming av bygninger og gatevarme ved miljøstasjonen. Biokullet selges i 10 liter sekker, BigBag (1.000 L) og bulk, og de selger dette med en pris fra 17 – 19 kr /l inkl. mva. avhengig av hvor mye man kjøper (fra prisliste 1.2 2025). Biokull i BigBag selges for 4.375 kr/m³ inkl. mva. Biokullet er sertifisert etter EBC (European Biochar Certification). Det tilsvarer 3.500 kr/m³, og ved en tetthet på 300 kg/m³ blir tonnprisen 11.667 kr/tonn eks mva.
- Arbion Industries har etablert et pyrolyseanlegg for produksjon av biokull på Hønefoss. I 2026 skal anlegget ha produksjonskapasitet på 10.000 tonn biokull, og når anlegget er fullt utbygd, vil anlegget ha en årlig kapasitet på over 20.000 tonn biokull. Råstoffet er treflis og andre restprodukter fra skogindustrien, noe som sikrer en kvalitet som gjør det egnet som reduksjonsmiddel i metallurgiske prosesser. Drivkraften bak investeringen er metallindustriens behov for å fase ut fossilt kull for å redusere sine klimagassutslipp.
- «Stockholm modellen» startet som et initiativ i 2016/17 for å håndtere hage- og parkavfall og redusere utslipp. I dag produseres biokull fra hage- og parkavfall gjennom pyrolyse, samtidig som overskuddsvarmen fra prosessen brukes i byens fjernvarmenett. Biokullet brukes deretter i byjord, parker og grøntanlegg, hvor det forbedrer jordkvalitet og binder karbon over lang tid. Modellen har også blitt koblet til frivillige karbonmarkeder, der karbonlagring fra biokull kan selges som kreditter via eksterne plattformer. Disse inntektene kan bidra til å finansiere videre produksjon og oppskalering, men systemet er ikke ett samlet, lokalt organisert karbonkredittmarked.

6.1.4 Rensemedium - vann, overvann, forurenset grunn og luft

På grunn av høy porøsitet og stort indre overflateareal kan biokull ha gode adsorpsjonsegenskaper. Dette gjør materialet egnet til rensing av vann, der det kan binde tungmetaller, næringsstoffer og organiske forurensninger. Biokull benyttes også til stabilisering av forurenset grunn, der hensikten er å redusere mobilitet og biologisk tilgjengelighet av ulike miljøgifter. I blågrønne løsninger, som regnbed og systemer for lokal overvannshåndtering, kan biokull inngå som filtermateriale for å forbedre renseeffekt og fordrøyning ved å forsinke vanntransport. Kullbaserte materialer, inkludert biokull, kan benyttes som adsorbenter for luktstoffer og andre kjemiske forbindelser i luft. Trebasert biokull har også vist lovende egenskaper som adsorbent for organiske mikroforurensninger i vann, og kan på sikt bli et supplement til aktivt kull i kvartærrensing. De vanligste teknologiene for kvartærrensing av kommunalt avløpsvann er ozonering og aktivt kull (granulert eller pulverisert). I mange anlegg kombineres ozonering med etterfølgende aktivt kullfiltrering for å oppnå høy rensegrad og samtidig fjerne transformasjonsprodukter og resterende forurensninger.

Felles for kullbasert rensing av utvalgte forurensende stoffer er bruken av aktivt kull, som kjennetegnes av svært høy adsorpsjonskapasitet. Adsorpsjonskapasitet oppgis vanligvis som mengde stoff adsorbert per masseenhets adsorbent, oftest i mg/g eller g/kg. Hvilken verdi man oppnår avhenger av forurensningstype, vannkvalitet, kontakttid og adsorbentens egenskaper. Adsorpsjonsegenskapene til ulike kullmaterialer bør ikke vurderes utelukkende ut fra maksimal adsorpsjonskapasitet (mg/g). En helhetlig sammenligning bør også omfatte adsorpsjonshastighet, spesifikt overflateareal (BET), porestruktur, gjennombruddstid, regenereringsmuligheter og kostnader. For praktiske rensesanlegg er særlig gjennombruddstid og filterlevetid viktige parametere, mens maksimal adsorpsjonskapasitet hovedsakelig benyttes til å sammenligne materialer under standardiserte laboratoriebetingelser.

Aktivt kull fremstilles av fossilt kull eller biokull etterfulgt av termisk aktivering, vanligvis med damp eller CO₂. Under aktiveringen skjer en kontrollert oksidasjon som utvikler et omfattende nettverk av porer og gir kullet høyt indre overflateareal, noe som er avgjørende for dets adsorpsjonsegenskaper, se Figur 12.



Figur 12 Adsorpsjonsegenskaper til biokull grunnet høy indre overflate, bildet er generert ved bruk av ChatGTP

Biokull for bruk til rensing og filtermedium må ha egenskaper som inkluderer kontrollert partikkelstruktur. I tillegg må ofte biokullet aktiveres, aktivt kull, for å åpne strukturene i kullet slik at adsorpsjonsegenskapene forbedres ytterligere. Aktivering av kull foregår ved bruk av damp.

Aktivt kull kan være vanskelig å klassifisere entydig basert på egenskaper alene, ettersom disse påvirkes av råmateriale, aktiveringsmetode og etterbehandling. Det foretas derfor ofte en grov inndeling basert på fysisk form, blant annet i pulverkull, granulert kull, ekstrudert kull og impregneret kull. Valg av kulltype avhenger av bruksområde og prosessutforming, der de fysiske egenskapene er særlig viktige. I filtersystemer må for eksempel kullets partikkelstørrelse og form sikre tilstrekkelig permeabilitet for å begrense trykkfall, ettersom økt trykkfall medfører økt energibehov for transport av vann eller luft gjennom filteret.

6.1.5 Bygg- og anlegg

Innen bygg- og anleggssektoren kan biokull brukes som et lett og funksjonelt tilslag i ulike materialer. Biokull kan inngå i betong, mørtel og isolasjonsprodukter for å redusere egenvekt, fuktregulering og forbedrede materialegenskaper. Når biokull bygges inn i konstruksjoner med lang levetid, fungerer det samtidig som et varig karbonlager. I anleggsprosjekter benyttes biokull også i tekniske masser, for eksempel til stabilisering av grunn eller som del av spesialtilpassede fyllmasser. På nettet finnes flere selskaper som har fått utarbeidet EPD (miljødeklarasjon) for biokull til bygg-bransjen.

6.1.6 Industrielle og tekniske anvendelser

Biokull brukes også i en rekke industrielle og tekniske sammenhenger, særlig der adsorpsjon og kjemisk stabilitet er viktige egenskaper. Materialet kan benyttes i filterløsninger for luft, gass og lukt, og i enkelte tilfeller som et alternativ til aktivt kull. Mer spesialiserte biokulltyper kan inngå i elektrodematerialer, katalysatorstøtter og som tilsetning i plast, gummi og asfalt, der biokull kan bidra til forbedrede materialegenskaper og redusert bruk av fossile råvarer. På Hønefoss produseres det som tidligere nevnt biokull til metallindustrien for å erstatte fossilt kull. Flere leverandører av kullfilter for luktrensing har biokull i sitt sortiment.

6.1.7 Klima og samfunn

For å oppnå klimamål og økt sirkulærøkonomi vil avfallsressurser være en viktig brikke. European Green Deal er EUs "veikart" for å gjøre økonomien klimanøytral innen 2050. For avfallssektoren betyr dette et skifte fra å være en sluttbehandler av avfall til å bli en aktør som leverer sekundære råvarer, fornybar energi og karbonløsninger – samtidig som kravene til kontroll av miljøgifter og utslipp blir strengere.

I denne omstillingen blir det økt fokus på å bevare karbon og næringsstoffer i biologiske ressurser, fremfor at karbonet frigjøres raskt gjennom forbrenning eller nedbrytning. Biokull representerer derfor en teknologi i skjæringspunktet mellom avfallshåndtering, sirkulær økonomi og klimaarbeid, hvor en del av karbonet i organiske avfallsressurser stabiliseres og kan lagres over lang tid. Samtidig kan produksjonen bidra til økt ressursutnyttelse av avfallsstrømmer som har begrensede alternative anvendelser.

Produksjon og bruk av biokull fra organiske avfallsressurser kan dermed bidra til nye verdikjeder, samtidig som det kan redusere miljøbelastning og støtte opp under en mer sirkulær økonomi. Det norske regelverket er imidlertid fortsatt under utvikling og henger på enkelte områder etter EU, noe som kan skape usikkerhet knyttet til klassifisering, produktstatus og anvendelsesområder. For at slike løsninger skal kunne skaleres, vil tydelige kriterier for produktstatus, end-of-waste og dokumentasjon av miljøegenskaper være avgjørende.

Avløpsslam som er biologisk nedbrutt i en biogassprosess, vil gjennom pyrolyse få et relativt høyt askeinnhold og være rikt på fosfor og enkelte mikronæringsstoffer. Samtidig vil slambelokull inneholde høyere konsentrasjon av tungmetaller sammenlignet med ikke pyrolysert slam. Pyrolysert avløpsslam vil ofte ha lavt innhold av organiske miljøgifter. På grunn av bruksbegrensninger til avløpsslam spesielt mht. fosfor vil pyrolysert slam måtte brukes i mindre mengder per arealenhet enn ikke pyrolysert slam. Derimot har pyrolysert slam gode forutsetninger for bruk i ikke-produktive jordarealer, som ved avslutning av deponier, veiskråninger og tekniske grøntområder. I tillegg kan denne typen slam være relevant for videre fosforgjenvinning eller som adsorberende materiale i rensing av jord og vann, samt som komponent i bygg- og anleggsformål der biologisk tilgjengelighet av næringsstoffer eller tungmetaller ikke er avgjørende.

Avløpsslam kan brukes som materiale for å produsere biokull, og det finnes standarder for sertifisering av biokull basert på avløpsslam (> 500°C i mer enn 3 minutter), men slambelokullet anses fremdeles som «avfall» med bruksbegrensninger i de fleste land.

EBC standarden har et eget dansk tillegg for biokull for bruk i landbruket, se mer i Vedlegg II. Dansk regelverk tillater kun bruk av biokull, uavhengig av råstoff, etter søknad i hvert enkelt tilfelle, fordi reguleringen i Danmark mangler en generell hjemmel for brukstillatelse for biokull. I Norsk regelverk anerkjennes ikke pyrolysert avløpsslam som «biokull», og pyrolysert avløpsslam må fremdeles håndteres som avløpsslam og kan brukes i landbruket og grøntareal hvis kvaliteten er i henhold til gjødselvarselsforskriften. Slambelokull med eller uten tilsats av karbonrikt materiale før pyrolyse, vil fremdeles anses som avløpsslam med samme bruksrestreksjoner som for avløpsslam.

Det foreligger per i dag ikke EU-harmoniserte end-of-waste kriterier for pyrolysert avløpsslam. Materialet er heller ikke generelt godkjent som komponentmateriale i EUs gjødselordning. Det er sterke pådrivere i EU for å få pyrolysert avløpsslam godkjent som jordforbedring, men per nå er det risikovurdert til å være for usikkert hva angår innhold av organiske miljøgifter. Grunnen er at pyrolysetemperatur i EU-regelverket er satt til 350 °C og man er usikker på om slikt biokull basert på avløpsslam er miljømessig trygt.

Utsortert rent treavfall fra gjenvinningsstasjoner består hovedsakelig av ubehandlet trevirke, som paller, kasser og annet trebasert emballasjemateriale. Dette materialet gir et biokull med høyt karboninnhold, lavt askeinnhold og god porøs struktur. Forutsatt god sortering og dokumentert fravær av impregnering, maling og andre kjemiske tilsetninger, har denne typen biokull et bredt anvendelsespotensial. Aktuelle bruksområder omfatter grøntarealer, jordforbedring i matjord og ikke-matjord, filtermaterialer for luft, lukt og overvann, samt bruk i byggematerialer som lettbetong og isolasjonsprodukter. Biokull fra rent treavfall egner seg godt for langsiktig karbonlagring, enten gjennom innblanding i jord eller ved innbygging i materialer med lang levetid.

Hage- og parkavfall, som kvist, løv, gress og annet grøntavfall, gir generelt et biokull med lav forurensningsgrad og gode bruksegenskaper. Denne typen biokull har ofte moderate karbonverdier og begrenset næringsinnhold, men egner seg godt som jordforbedringsmiddel i landbruk, grøntanlegg og urbane grøntområder. Biokull fra hage- og parkavfall kan forbedre jordstruktur, øke vannholdingsevne og bidra til stabilisering av næringsstoffer, særlig når det kombineres med kompost eller gjødsel. Videre er det godt egnet i blågrønne løsninger, som regnbed og systemer for lokal overvannshåndtering, samt som et virkemiddel for karbonbinding på kommunalt nivå.

Vannverkslam skiller seg fra de øvrige avfallstypene ved sitt høye innhold av aluminium eller jern, som følge av kjemikaliebruk i drikkevannsbehandling. Biokull basert på vannverkslam har derfor sterk evne til å binde fosfor, men lavt karboninnhold og begrenset agronomisk verdi. Dette gjør materialet lite egnet til jordforbedring for planteproduksjon, særlig i matjord der fosfortilgjengelighet er viktig. Derimot har denne typen biokull et betydelig potensial som filtermateriale for fosforfjerning i våtmarker, overvannssystemer og andre renseformål, samt i tekniske jordblandinger og bygg- og anleggsprosjekter der stabilisering og forurensningskontroll er hovedformålet. Vannverkslam kan være egnet for sam-pyrolyse med mer karbonrikt materiale. Vannverkslam er ikke et råstoff som er godkjent for produksjon av EU sertifisert materiale for biokull som jordforbedring. Man kan søke Mattilsynet om å produsere biokull basert på vannverkslam.

Samlet sett viser disse eksemplene at biokull fra ulike avfallsstrømmer har et bredt spekter av bruksområder, men at riktig bruk forutsetter grundig mottakskontroll, tilpasset produksjonsprosess og tydelig avgrensning mot gjeldende regelverk og miljøkrav. En differensiert tilnærming til både valg av avfallsressurs og sluttbruk er avgjørende for å sikre både miljømessig og samfunnsøkonomisk gevinst, se oppsummering i Tabell 6-1.

Kullets funksjonelle egenskaper karakteriseres videre gjennom analyser av spesifikt overflateareal og porestørrelsesfordeling, som er avgjørende for adsorpsjon av henholdsvis små og større molekyler. Grad av aktivering vurderes ofte ved jodtall, som gir et mål på mikroporøsitet og dermed kullets kapasitet for adsorpsjon av små organiske forbindelser.

I tillegg er mekanisk styrke (hardhet) en viktig parameter, da tilstrekkelig slitestyrke reduserer nedbrytning og støvdannelse ved bruk eller utlegging. Askeinnholdet bør være lavt, særlig for vannrensing for å unngå utlekking av uorganiske komponenter som kan påvirke vannkvaliteten negativt.

I dag benyttes fortsatt fossilt kull som råvare i produksjon av aktivt kull. Dette skyldes blant annet jevn kvalitet, høy mekanisk styrke og god egnethet for industriell produksjon og reaktivering. Samtidig benyttes biologiske råvarer i økende grad, særlig kokosskall, blant annet som følge av økt bevissthet knyttet til bærekraft og tilgang på fornybare ressurser. Aktivt kull fremstilt av biologiske råvarer vil etter endt bruk ikke bidra til utslipp av fossil CO₂ ved avfallsforbrenning ettersom karbonet inngår i det biogene karbonkretsløpet. Biokull kan også regenereres på samme måte som fossilt kull, men det avhenger av hva som er renset, med andre ord hvilke kjemiske forbindelser de er forurenset med.

Tabell 6-1 Sammenstilling av ulike råvarer med egenskaper, begrensinger og hensyn for produksjon av biokull.

Råvare / avfallsstrøm	Viktige egenskaper	Aktuelle bruksområder	Begrensninger / hensyn
Avløpsslam (pyrolysert etter utråkning)	Relativt lite karbon, og høyt askeinnhold, rikt på fosfor og mikronæringsstoffer, nitrogen vil gå tapt. Vil inneholde tungmetaller, men visse stoffer vil forsvinne ved høy temperatur, ofte lavt innhold av organiske miljøgifter. Må tørkes før pyrolyse	Jordforbedring i landbruk og ikke-produktive jordarealer (deponiavslutning, veiskråninger og grøntområder), Råstoff til fosforgjenvinning. Kan mulig fungere som adsorberende materiale for rensing av vann. Kan brukes til tekniske formål som rensing, til bygg- og anleggsformål etter søknad i forurensingsloven.	Begrenset bruk i landbruk pga. tungmetaller og fosfor-regulering. Det er sannsynlig at konsentrasjon av sink blir overskredet for bruk i landbruk. Ikke generelt godkjent som EU-sertifisert biokull til jordforbedring. Det er lite erfaring med slambiomasse, men det er studier som undersøker ulike bruksegenskaper
Utsortert treavfall	Høyt karboninnhold, lavt askeinnhold, god porøs struktur, begrenset næringsinnhold, men gode bruksegenskaper for flere formål. Treavfall må sorteres godt for å få ut fremmedelementer (metall mm.)	Jordforbedring i matjord og grøntarealer, filtermateriale for luft, lukt og overvann, byggematerialer (lettbetong, isolasjon) Gir langsiktig karbonlagring i jord eller materialer	Krever god sortering og dokumentert fravær av impregnering, maling og kjemiske tilsetninger
Hage- og parkavfall	Lav forurensningsgrad, moderate karbonverdier, begrenset næringsinnhold, men gode bruksegenskaper. Stor variasjon i avfallet og vil kreve utsortering for å fjerne jord/ grus. Jo mer kvist jo bedre biokull sammenlignet med f.eks. plenklipp.	Jordforbedring i landbruk, grøntanlegg til forbedring av jordstruktur og vannholdingsevne, stabilisering av næringsstoffer, blågrønne løsninger (regnbed, lokal overvannshåndtering), god karbonbinding	Ofte begrenset næringsinnhold, fungerer best i kombinasjon med kompost eller gjødsel
Vannverksslam	Høyt innhold av aluminiumsom kan gi sterk fosforbinding i jord Lavt næringsinnhold og lavt karboninnhold, begrenset agronomisk verdi. Må tørkes før pyrolyse.	Filtermateriale for fosforfjerning i våtmarker og overvannssystemer, andre renseformål, tekniske jordblandinger, bygg- og anleggsprosjekter, sam-pyrolyse med karbonrikt materiale	Lite egnet til jordforbedring i planteproduksjon, særlig matjord, ikke godkjent som EU-sertifisert biokull til jordforbedring
Konkurransesituasjon			
Fossilt kull	Jevn kvalitet, høy mekanisk styrke, godt egnet for industriell produksjon og reaktivering	Aktivt kull til vannrensing, luftfiltrering og industrielle renseprosesser	Bidrar til fossil CO₂ hvis det brennes etter bruk
Rene biologiske råvarer til biokull (f.eks. kokoskall)	Fornybare ressurs, kan regenereres, inngår i biogent karbonkretsløp	Aktivt kull til vannrensing, luftfiltrering og industrielle renseprosesser	Regenerering avhenger av hvilke stoffer kullet har adsorbert

6.2 Karbonlagringseffekter

Biokull er foreløpig ikke en del av Norges offisielle klimagassregnskap, men det kan bli inkludert etter hvert som nødvendig metodikk og datagrunnlag utvikles. FNs klimapanel (IPCC) åpnet i 2019-oppdateringen av retningslinjene for at land kan bokføre karbonlagring fra biokull tilført jordbruksjord, forutsatt at metodiske krav oppfylles. I Klimakur 2030 står det at biokulltiltak ikke kan bokføres i dag, men kan på sikt inkluderes i sektoren for skog og annen arealbruk.

I norsk landbruk inngår biokull i dag som et foreslått og utprøvende klimatiltak, blant annet omtalt i Landbrukets klimaplan under satsingsområdet «Jorda som karbonlager». Dette innebærer at biokull kan bidra til økt karbonlagring på gårdsnivå, men det betyr ikke at biokull er en formell del av gårdenes klimaregnskap eller det nasjonale rapporteringssystemet. Metodikk og datainnsamling er fortsatt under utvikling før biokull kan innlemmes i offisiell rapporteringen. Regionale miljøprogram (RMP) har i noen fylker åpnet opp for å gi støtte til landbruket som benytter biokull for karbonlagring. Det er bare noen få Statsforvaltere som gir slike tilskudd per nå, og det er Vestfold og Telemark, Rogaland, Trøndelag og Innlandet. Disse programmene endres hvert tredje år og for perioden vi er inn i nå er satsene gitt i Tabell 6-2. I miljøprogrammet fra 2022-2026 fra Statsforvalter i Oslo- Viken, hadde de ikke inkludert biokull i RMP da de mente det var prematurt. Hva de vil gjøre etter 2026 er ikke kjent og oppdateringer skjer på fylkeskommunes hjemmesider.

Tabell 6-2 Støttebeløp gjennom RMP for bruk av biokull

Fylke	Kr/ kg	Maks kg per foretak	Krav
Rogaland	15	1000	Sertifisert etter EBC
Vestfold og Telemark	13	4000	Sertifisert etter EBC, >75%TS
Trøndelag	16 (utbetalt 2024)	3000	>75%TS
Innlandet	15 (sats 2025)	1000	Sertifisert etter EBC

Karbonlagringseffekt styres av konsentrasjon av karbon samt forholdet mellom hydrogen og karbon i biokullet. I gjødselvereforskriften skal dette forholdstallet være lavere enn 0,7.

Et lavt H/C-forhold indikerer høy aromatisitet, det vil si at karbonet i biokullet i stor grad er organisert i stabile ringstrukturer. Dette betyr at biokullet er sterkt forkullet og har gjennomgått en høy grad av karbonisering. Mesteparten av det opprinnelige materialet er fjernet, og det som er igjen er hovedsakelig karbon. Som følge av dette har materialet høy kjemisk stabilitet og kan ha svært lang levetid i jord, ofte fra flere hundre til tusen år. Slike egenskaper er typiske for biokull som er produsert ved høy pyrolysetemperatur.

Et høyt H/C-forhold tyder derimot på at biokullet inneholder flere alifatiske strukturer og mindre kondenserte karbonforbindelser. Dette gir et mindre stabilt biokull som er mer reaktivt både biologisk og kjemisk. Biokull med høyt H/C-forhold er ofte resultat av pyrolyse ved lavere temperaturer og har derfor en lavere grad av forkulling. Verdier som brukes for å angi karbonlagringsevne er:

- $H/C < 0,4$ → svært stabilt biokull, karbonlagring, mer enn 1000 år - temperatur 500–700 °C - tid mer enn 30 min
- $H/C 0,4–0,7$ → moderat stabilitet, karbonlagring mellom 100 og 1000 år - temperatur 400 -500 °C - tid 30 - 60 min
- $H/C > 0,7$ → lav stabilitet / lite forkullet materiale, karbonlagring mindre enn 100 år - temperatur 300–400 °C - tid mindre enn 30 min

7 Juridiske og tekniske barrierer

7.1 Juridiske barrierer

7.1.1 Sertifiseringsordninger

Biokullsertifisering dokumenterer primært kvalitet, sikkerhet og produksjonsforhold, mens karbonfjerningssertifisering vurderer netto klimaeffekt, sporbarhet og varigheten av karbonlagringen. Det finnes flere internasjonale sertifiseringsordninger for biokull og karbonfjerning. I Europa er European Biochar Certificate (EBC) den mest etablerte ordningen for dokumentasjon av biokullets kvalitet, produksjon og sikkerhet. For å kvalifisere for salg av karbonfjerningskreditter finnes egne karbonstandarder, hvor Puro.earth er en av de mest etablerte aktørene innen biokull. Andre internasjonale karbonstandarder, som Verra og Gold Standard, kan også være relevante avhengig av prosjekt og marked.

European Biochar Certificate (EBC)

European Biochar Certificate (EBC) er en frivillig europeisk sertifisering som dokumenterer bærekraftig produksjon og forutsigbar kvalitet på biokull. Standardene dekker tillatte råvarer, pyrolyseprosesser og produktkvaliteter, og deles inn i bruksklasser: fôr, økologisk og konvensjonelt landbruk, urban bruk (byplanlegging, park, anlegg) og tekniske/industrielle formål. EBC har en positivliste over råvarer (EBC, 2025) for ulike typer biokull. Råvarelisten for de ulike biokullkategoriene er vedlagt i Vedlegg I Råvarer EBC-biokull. Grenseverdier for organiske miljøgifter og tungmetaller i for EBC sertifisert biokull er gitt i Vedlegg II.

EBC definerer biokull som et karbonrikt, stabilt materiale produsert gjennom termokjemisk omdanning av biomasse under oksygenbegrensede forhold, med formål om langsiktig karbonlagring eller materialbruk. Det skal ikke forbrennes for energiproduksjon. EBC har utarbeidet en sjekkliste knyttet til sertifisering, men denne må anses som en støtte og ikke en garanti for sertifisering. En forenklet oversikt over hva som må dokumenteres i en sertifiseringsprosess er gjengitt her:

Biomassen:

- Må være inkludert i EBCs positivliste over råvarer
- Skal være sporbar i minst fem år
- Skal ikke inneholde farlige forurensninger

Produksjon:

- Pyrolysetemperatur: 350°C – 1000°C
- Produksjonsperiode: Produksjonsdata og logger skal dokumentere den aktuelle produksjonsperioden.
- Fullstendig produksjonslogg kreves
- Fossilt brensel kun tillatt ved oppstart av prosess, men bruk av fossile energikilder er begrenset og må dokumenteres i henhold til EBCs krav.

Regelverk:

- Må følge lokale sikkerhetskrav
- Risiko og krav til verneutstyr skal dokumenteres
- Biokull skal ha tilstrekkelig fuktighet (~30%) for å redusere støv og selvantennelse

Prøvetaking:

- Prøver fra nye serier analyseres innen to måneder
- Prøvetaking og analyse skal gjennomføres i henhold til kravene i EBC-standard for aktuell produksjon og sertifiseringskategori.

Emballasjeinformasjon:

- Kvalitetskategori
- Innhold av organisk karbon
- pH
- Næringsinnhold
- Maksimal prosess-temperatur

- QR-kode som viser analyse for sertifisert produksjonsserie

Puro.Earth

Puro.Earth er en plattform for sertifisering og handel med karbonfjerning, der produsenter kan få utstedt karbonfjerningssertifikater (CORCs – Carbon Removal Certificates) dersom kravene i metodikken oppfylles. For biokull er det krav til blant annet permanent karbonlagring, dokumentasjon og verifisering. EBC-sertifisering kan være relevant dokumentasjon for biokull som vurderes kvalifisert for karbonfjerningssertifikater gjennom ordninger som Puro.earth, men er ikke alene tilstrekkelig. Puro.earth har egne krav og verifikasjonsprosesser. Kravene for å oppnå en biokullsertifisering og kravene for å kvalifisere for karbonkreditter er ikke identiske.

7.1.2 Norsk regelverk for biokull som en gjødselvarer

Det er gjødselvarerforskriften (Lovdata 2025b) og forskrift om lagring og bruk av gjødsel mv (Lovdata, 2025a) som regulerer kvalitet på biokull og mengden som skal brukes som en gjødselvarer. Hvis en produserer biokull som skal brukes i jordbruk, hager, parker eller grøntanlegg, må virksomheten din være registrert hos Mattilsynet. Du må også registrere deg hvis du omsetter biokull i bulk til slike formål, eller hvis du behandler eller blander råvarer som skal inngå i produksjon av biokull som skal brukes som gjødselvarer. Biokull av avløpsslam regnes fortsatt som avløpsslam og følger samme kvalitetskrav og bruksbegrensninger som for avløpsslam. Det betyr at selv om man pyrolyserer avløpsslam, betyr det ikke at man kan kalle det «biokull».

Det er bare visse avfallsressurser/råstoff som kan brukes som råvarer i produksjon av biokull til gjødselvarereformål (positivliste). For andre organiske råvarer må det søkes tillatelse om. Råvarene som ikke krever spesiell tillatelse, er:

- Hage- og parkavfall
- Landbruksavfall
- Planter, plantemateriale og planteekstrakt
- Vaskejord fra potet og grønnsaker
- Torv
- Treforedlingsavfall (trestøv, fiberslam, biologisk slam fra cellulose- eller trearbeidene industri).

Tillatelse til bruk av andre råvarer enn de som følger av listen kan bare gis dersom råvaren har en dokumenterbar nyttevirkning for produktet eller produksjonsprosessen den skal brukes i, og ikke medfører fare for helse eller miljø. Det kan stilles vilkår for tillatelsen.

Råvarene det gis tillatelse til skal ikke forutsette bestemte bruksbetingelser for det ferdige produktet for at bruken skal vurderes som akseptabel for helse og miljø. Det skal heller ikke være nødvendig å sette mengdebegrensning på andelen av råvaren i det ferdige produkt for at bruken skal være akseptabel for helse og miljø.

Biokull skal produseres under oksygenbegrensende forhold. Biokull må ha et molforhold mellom hydrogen og organisk karbon på mindre enn 0,7. Denne grensen er satt for å kunne anse biokullet som karbonlagring. Grenseverdier for organiske miljøgifter i biokull er oppgitt i Tabell 7-1 .

Tabell 7-1 Grenseverdier for innhold av organiske miljøgifter i biokull

Organisk miljøgift	Grenseverdi
Polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH16)	6 mg PAH ₁₆ per kg tørrstoff
Polyklorerte dibenzo-p-dioksiner og dibenzofuraner (PCDD/F)	20 ng WHO- toksisitetsekvivalenter av PCDD/F per kg tørrstoff

Pyrolyse av avløpsslam resulterer ikke i produksjon av «biokull» som en egen varetypekategori i henhold til gjødselvarerforskriften. Pyrolysert avløpsslam omfattes av de samme grenseverdiene for forurensede stoffer og bruksbegrensningene som ordinært avløpsslam. Dersom utrånnet avløpsslam tilfredsstiller tungmetallgrenseverdiene for bruk i landbruk og pyrolyseres uten tilsatsmateriale, vil oppkonsentrasjon i

biokullet følge av biokullutbyttet. For at biokullet ikke skal overstige for eksempel grenseverdi for landbruk på 800 mg Zn/kg TS, må sinkkonsentrasjonen i slammet ved ulike biokullutbytter ikke overstige:

- 160 mg /kg TS ved 20% slambiomasseutbytte
- 240 mg/kg TS ved 30 % slambiomasseutbytte
- 320 mg/kg TS ved 40 % slambiomasseutbytte
- 480 mg/kg TS ved 60 % slambiomasseutbytte
- 560 mg/kg TS ved 70 % slambiomasseutbytte

For å ikke overstige grenseverdiene for slambiomasse til landbruk er det anbefalt at slam pyrolyseres sammen med ulike trebiomasser. Sinkkonsentrasjon i slammet fra Bekkelaget er ca. 450 mg/ kg TS (Henninge og Blytt, 2023), og avløpsslammet som var testpyrolysert på Lindum hadde en konsentrasjon på 470 mg Zn /kg TS. I alle forsøkene på Lindum, med ulike typer trebiomasser som tilsats, ble sinkkonsentrasjonen i biokullet mellom 122 og 598 mg/kg TS. Biokullet med 32 % avløpsslam (+ 8% vannverkslam og 60 % trebasert tilsats) kan brukes både i jordbruk og i grøntanlegg. Jo høyere temperatur (600 og 800 °C) og lenger oppholdstid (30 og 60 min), jo lavere ble sinkkonsentrasjonen i biokullet. Grunnen er at sink er volatil og vil kunne fordampe. Hvis man kun pyrolyserer rent avløpsslam uten tilsatsmateriale, vil man kunne risikere å få et slambiomasse som kun kan benyttes til grøntanlegg på grunn av høyt sinkinnhold, spesielt ved lave temperaturer og kort oppholdstid i reaktor.

Mattilsynet har opprettet to varebetegnelsene for avløpsslam som er behandlet særskilt, «sterilisert avløpsslam» og «avløpsslambasert gjødsel med særskilte bruksvilkår». Etter søknad kan Mattilsynet godkjenne pyrolysert avløpsslam som «sterilisert avløpsslam». Dette er avløpsslam som har vært gjennom en termisk behandling som innebærer at slammet er sterilisert. Slik avløpsslam har færre bruksrestriksjoner på grunn av bedre hygienisk kvalitet. Dersom pyrolysert avløpsslam videreføres til en balansert gjødsel, er det også mulig å søke om varebetegnelsen «avløpsslambasert gjødsel med særskilte bruksvilkår». Dette er avløpsslam som er egnet for årlig gjødsling opp til 100 kg/ dekar og år, og har en balansert nærings sammensetning av nitrogen, fosfor og kalium for plantevekst og skal være fast og egnet til å spre jevnt. Dette kan være aktuelt dersom man pelleterer slambiomasse med mineralgjødsel.

Disse to varetypebetegnelser gjør at pyrolysert avløpsslam kan brukes med færre bruksrestriksjoner sammenlignet med mer vanlige slambehandlingsmetoder (kompost, anaerob behandling (biogassanlegg), kalkbehandling mm).

Hvis det organiske materialet inneholder animalske biprodukter, for eksempel ubehandlet husdyrgjødsel som hestemøkk, må pyrolyseanlegget være godkjent for produksjon av organisk gjødsel og jordforbedringsmiddel etter animaliebiproduktforskriften (OFSI-godkjenning). Dersom en råvare av animalske biproduktet er godkjent som et sluttprodukt før pyrolyse, for eksempel hestegjødselkompost, gjelder ikke denne særskilte godkjenningsordningen.

Oppsummering

Biokull med avløpsslam er å anse som slam og følger ikke grenseverdier for biokull, men for slam. Biokull etter norsk regelverk skal hovedsak lages av utvalgte plantebaserte råvarer for å kunne brukes ubegrenset. Andre råvarer kan godkjennes hvis de er dokumentert trygge for miljø og helse. Avfallstrevirke må godkjennes særskilt før det kan brukes. Godkjent biokull kan som oftest brukes som jordforbedringsmiddel uten spesielle restriksjoner.

Pyrolysert avløpsslam faller ikke inn under definisjonen av biokull etter gjeldende regelverk, og vil fortsatt klassifiseres som avløpsslam. Materialet er dermed underlagt de samme bruksrestriksjonene og øvrige kravene som gjelder for avløpsslam, men åpner for to varianter som har færre bruksrestriksjoner, «sterilisert avløpsslam» og «avløpsslambasert gjødsel». Sistnevnte må ha et innhold av plantenæringsstoffer som er balansert. Dersom man blander avfallstrevirke og avløpsslam før pyrolyse vil pyrolyseproduktet være å anse som avløpsslam.

Gjødselvarerforskriften samsvarer i stor grad med European Biochar Certification (EBC) når det gjelder biokull til jordforbedring, men positivlisten i forskriften er i praksis basert på råvarer som er tillatt i økologisk landbruk, tilsvarende sertifisering for produksjon av EBC-AgroOrganic.

7.1.3 Norsk regelverk for biokull for teknisk bruk

Når biokull fremstilles eller brukes til et bestemt teknisk formål, for eksempel som filtermateriale, rensemedium, komponent i komposittmaterialer eller som katalysator, må det vurderes hvilke regelverk som kommer til anvendelse. Den viktigste vurderingen er om biokullet fortsatt har status som avfall, eller om det har opphørt å være avfall og kan brukes eller omsettes til et bestemt formål.

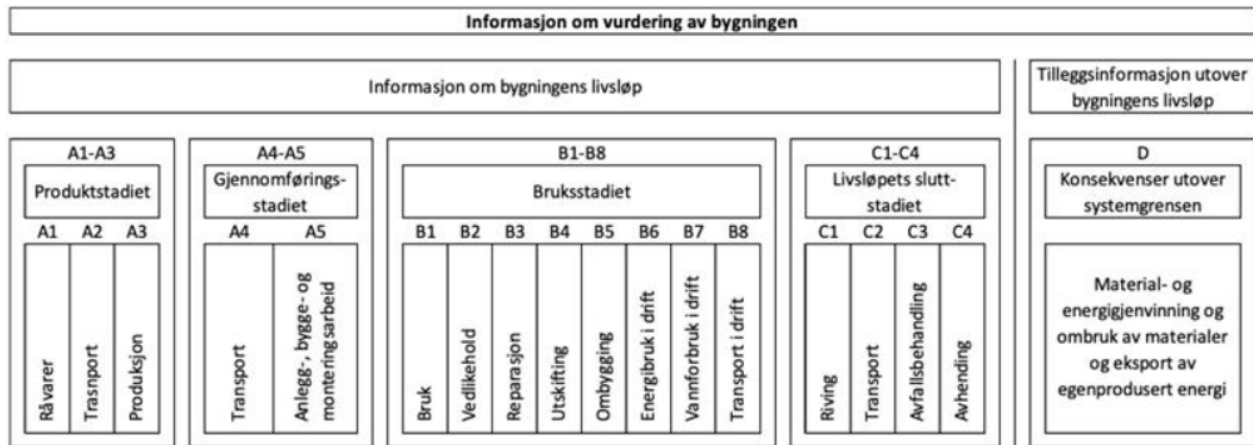
Så lenge biokullet regnes som avfall, vil håndteringen i hovedsak være regulert etter forurensningsloven. REACH-forordningen gjelder som hovedregel ikke for avfall. Dersom biokullet derimot har opphørt å være avfall og tas i bruk som et produkt eller stoff, kan REACH, CLP og annet relevant produktregelverk bli aktuelle.

REACH-forordningen stiller krav til blant annet registrering og sikker håndtering av kjemiske stoffer i EU/EØS. Om biokull omfattes av slike krav, må vurderes konkret ut fra blant annet råvarene, produksjonsprosess, sammensetning, mengde og bruksområde. Dersom biokullet har fareegenskaper, kan også krav etter CLP-forordningen om klassifisering, merking og emballering være relevante.

I tillegg kan produktkontrollloven være relevant dersom biokullet brukes som et produkt. Loven stiller krav om at produkter ikke skal medføre uakseptabel risiko for helse eller miljø. For eksempel kan biokull fremstilt av rent trevirke og brukt til tekniske formål være omfattet av slike krav.

For biokull fremstilt fra avløpsslam vil utgangspunktet være at materialet har status som avfall, ettersom det ikke finnes egne kriterier for når denne typen materiale opphører å være avfall (end-of-waste-kriterier). Dersom biokullet fortsatt anses som avfall, vil krav etter forurensningsloven være sentrale. Bruk av slambasert biokull til bestemte formål, for eksempel som rensemedium i kvartærrensing, kan kreve avklaring eller tillatelse fra relevant myndighet, avhengig av materialets egenskaper og den planlagte bruken. Dersom det gjennom en konkret vurdering kan fastslås at biokullet har opphørt å være avfall, må det vurderes om REACH, CLP og annet relevant produktregelverk kommer til anvendelse.

Dersom biokull brukes som komponent i byggprodukter eller andre materialer, for eksempel som fyller i betong, isolasjon eller kompositter, vil byggt teknisk forskrift (TEK17) være relevant. TEK17 stiller krav til sikkerhet, helse, energi og miljø i bygninger. Videre kan produktstandards for byggematerialer kreve dokumentasjon av fysikalske egenskaper, holdbarhet, brannsikkerhet og lignende. Nå (frist var 5. mai 2026) pågår det en høring av endring av byggt teknisk forskrift som går ut på å utvide kravet om klimagassregnskap fra materialer til å omfatte flere bygningskategorier, livsløpsfaser og bygningsdeler. De foreslår også å innføre krav om grenseverdier for klimagassutslipp knyttet til materialer. Dersom det blir endringer i forskriften og man velger å produsere biokull til bygg vil det være nødvendig å utarbeide miljødeklarasjon for produkter (EPD) for biokullet slik at for eksempel byggevarerindustrien kan inkludere dette i sin livsløpsanalyse (LCA) dokumentasjon, se Figur 13. Betongindustrien har også ulike standarder som er under revisjon.



Figur 13 LCA forløp for bygninger og vurderingsområder A, B, C og D

7.2 Tekniske barrierer

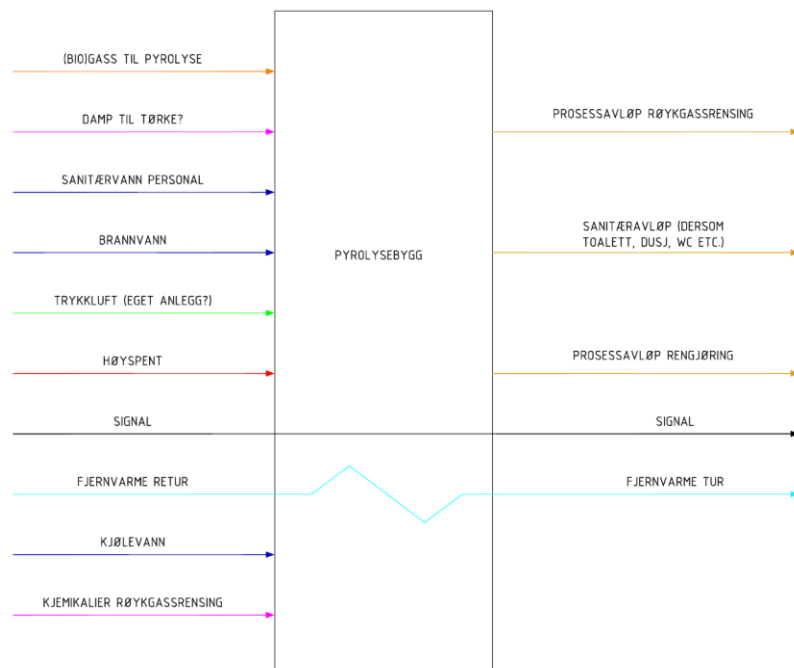
Pyrolyseanlegget antas å måtte bestå av flere parallelle enheter for å håndtere mengdene av avfallsressurser som skal behandles. Et pyrolyseanlegg må periodisk tas ut av drift for rengjøring. Frekvensen varierer blant ulike produsenter, men kan typisk være hver sjette uke. Rengjøring krever ofte flere dager nedetid, da pyrolyseovnen må nedkjøles før rengjøring kan starte og deretter varmes opp før den kan settes i drift. Det er derfor behov for personalfasiliteter som garderober, dusj etc. i tilknytning til anlegget. Figur 14 illustrerer primære faktorer inn og ut av et pyrolysebygg.

Dersom det ikke er fjernvarme og/eller egnet energikilde (damp, eksos, biogass etc.) i nærheten, så vil dette begrense antall leverandører og tekniske løsninger. Det finnes teknologi som kan produsere strøm av overskuddsvarme fra en pyrolyseprosess, Organic Rankine Cycle (ORC). Selv om virkningsgraden ofte er lav, kan de gi et bidrag som ellers ville gått tapt.

Pyrolyseanlegg krever ofte tilgang på gass i form av propan, naturgass, biogass etc. for å varme opp selve pyrolyseovnen til driftstemperatur eller som støttefyring dersom råmateriale ikke har tilstrekkelig brennverdi. Et gassanlegg krever areal utover selve utstyret i form av sikringssoner.

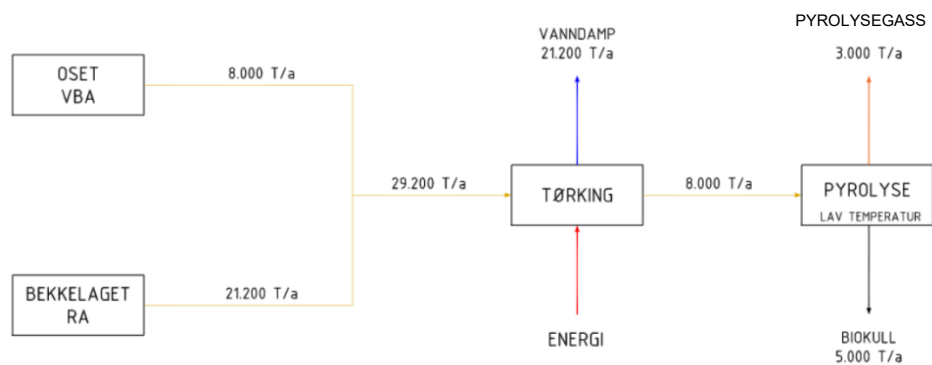
Generelt er de tekniske barrierene følgende:

- Plass for mellomlagring og forbehandling
- Rensing av eventuelt prosessvann (rejektvann ved ytterligere avvanning)
- Tørring er ofte største energibarriere for slam, herunder ekstern energikilde
- Lavt karboninnhold og høy askeandel er reelle utfordringer for utrånnet slam og vannverkslam
- Energiintegrasjon/varmeutnyttelse er viktig
- Slaggdannelse og fouling (gradvis avleiringer) er kjente utfordringer spesielt for slam
- Variabel råvarekvalitet påvirker prosesskontroll
- Støv- og eksplosjonsfare er relevant
- Pelletering brukes mange steder for å kunne håndtere biokull nedstrøms
- Gassrensing er nødvendig



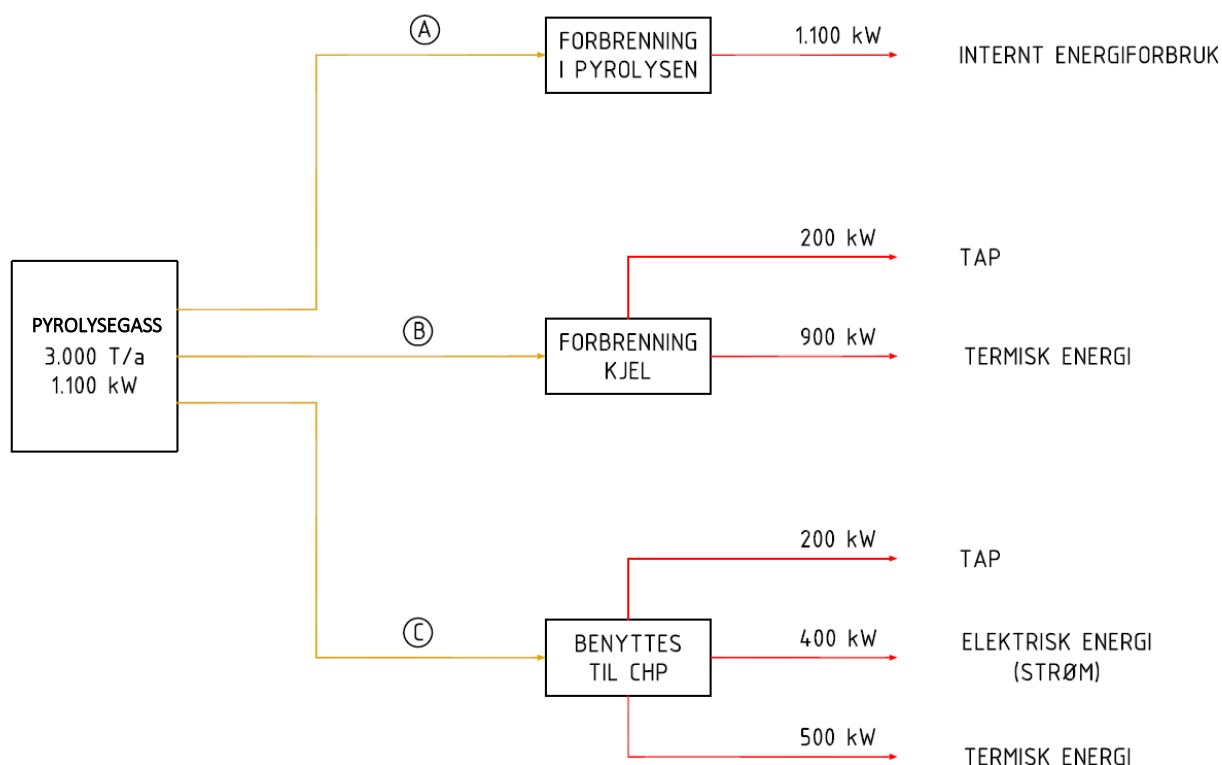
Figur 14 Nødvendige innsatsfaktorer for pyrolyse

Mengder slam som genereres på Oset vannbehandlingsanlegg og Bekkelaget renseanlegg, må transporteres for videre behandling. Det er satt opp en massebalanse i figuren under for lav temperatur pyrolyse av de to fraksjonene.



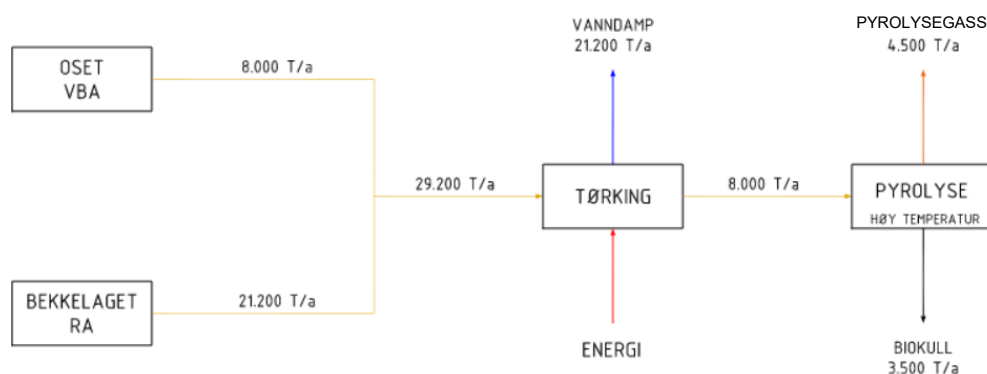
Figur 15 Massebalanse slam fra Oset vannbehandlingsanlegg og Bekkelaget renseanlegg ved sampyrolyse av de to slamfraksjonene.

Pyrolysegass er en sammensetning av brennbare (H_2 , CO , CH_4) og ikke-brennbare (H_2O , CO_2) gasser. Det er ulike løsninger for å benytte pyrolysegassen som vist i Figur 16.



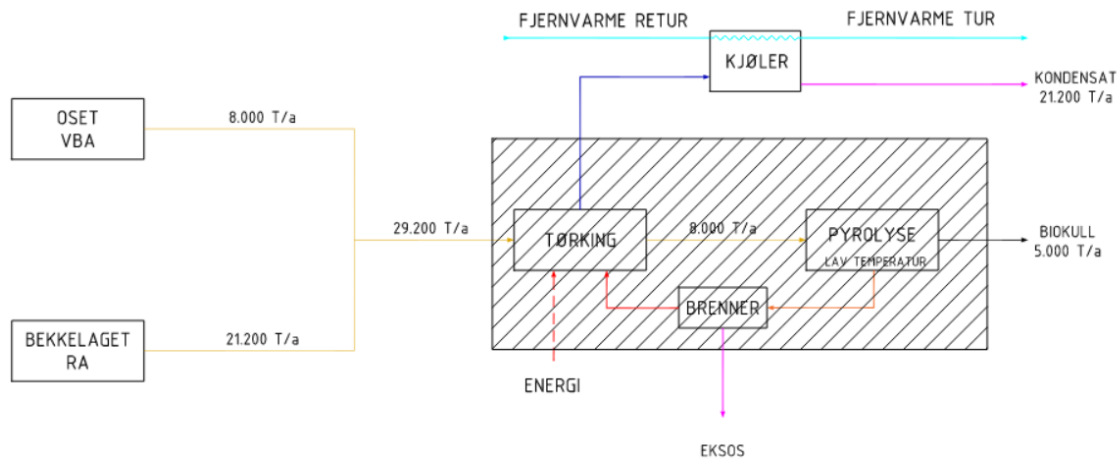
Figur 16 Alternativ bruk av pyrolysegass ved pyrolyse, CHP står for Combined Heat and Power (gassmotor).

Høytemperatur pyrolyse skiller seg fra lavtemperatur ved at det blir mindre karbon igjen i biokullet og mere gass blir produsert. Lavtemperatur pyrolyse gir altså størst biokullutbytte, mens høytemperatur pyrolyse gir størst gassutbytte og lavere biokullproduksjon. Ved gassifisering tilføres en begrenset mengde oksygen, luft, damp eller CO₂ for å omdanne organisk materiale til en mer energirik gass (syngass som består av CO og H₂). I motsetning skjer pyrolyse uten tilført oksygen, der materialet i stedet spaltes termisk og danner biokull, pyrolysegass og kondenserbare forbindelse. Massebalanse er vist i Figur 17.



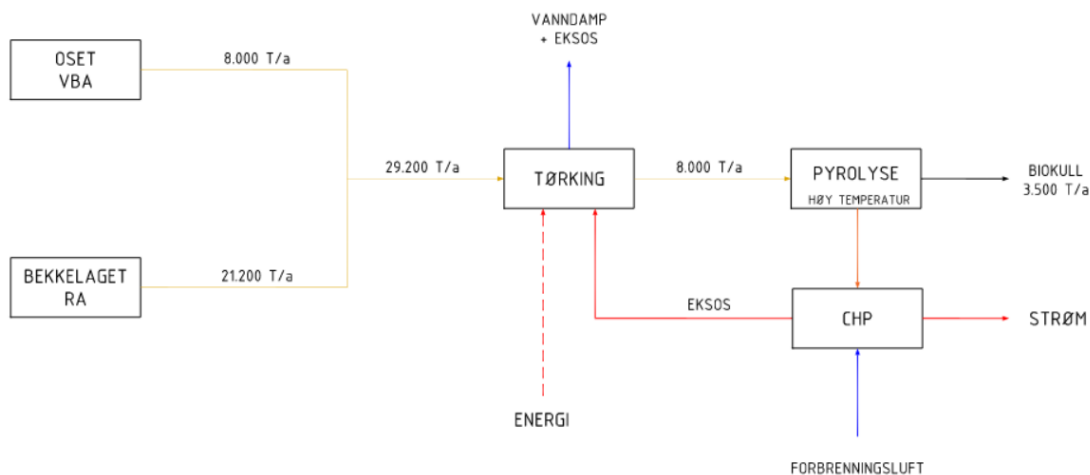
Figur 17 Massebalanse slam fra Oset vannbehandlingsanlegg og Bekkelaget renseanlegg ved høytemperatur pyrolyse / gassifisering

Anlegg med integrert tørke og pyrolyse finnes kommersielt tilgjengelig på markedet. En typisk lav temperatur pyrolyseanlegg er vist i figuren under. Her benyttes avdamp fra tørken inn på en varmeveksler med fjernvarme.



Figur 18 System for integrert lav temperatur pyrolyse (AquaGreen)

Høy temperatur pyrolyse og CHP kan gjøre det mer komplisert å gjenvinne varme fra tørken ved kondensering, men eksosen kan også benyttes direkte til tørken som illustrert i Figur 19 under.



Figur 19 Massebalanse slam fra Oset vannbehandlingsanlegg og Bekkelaget renseanlegg ved gassifisering og CHP bruk

Tekniske barrierer for pyrolyse av kun utråtnet avløpsslam og vannverkslam

Avvannet slam har for høyt fuktighetsinnhold til å kunne pyrolyseres direkte, og må derfor tørkes fra omtrent 25 % tørrstoff til typisk 80–90 % tørrstoff før behandling. Tørkeprosessen er energikrevende og representerer ofte en av de største tekniske og økonomiske barrierene for pyrolyse av slam. Pyrolyseanlegg for slam utvikles derfor ofte som integrerte løsninger ved renseanlegg, der man har tilgang til håndtering og rensing av rektvann fra ytterligere avvanning samt interne energikilder, som biogass, til oppstart og drift av prosessen.

Både avløpsslam fra Bekkelaget og vannverkslam fra Oset har relativt lavt karboninnhold per kg tørrstoff, noe som gir lav brennverdi og behov for tilførsel av energi ved oppstart dersom intern egnet energikilde ikke er tilgjengelig. Ved forbrenning av pyrolysegass og andre energibærere fra prosessen kan det samtidig genereres overskuddsvarme som bør gjenvinnes for å oppnå en tilfredsstillende energibalanse. En sentral utfordring er at overskuddsenergien hovedsakelig foreligger som varme, og at det kan være krevende å

utnytte denne effektivt til tørking og drift av pyrolyseprosessen. Energioptimalisering blir særlig utfordrende dersom det ikke finnes konkrete avtakere for overskuddsvarmen.

Høyt innhold av aske og mineraler i slammet kan gi driftsutfordringer i pyrolysereaktoren, blant annet i form av slaggdannelse, belegg og redusert varmeoverføring. Variasjoner i slamkvalitet og sammensetning kan også gjøre det vanskelig å oppnå stabil drift og jevn kvalitet på sluttproduktet. Det finnes foreløpig begrenset erfaring med samprosessering av avløpsslam og vannverkslam i pyrolyseanlegg, og det er derfor fortsatt usikkerhet knyttet til optimale blandingsforhold og prosessparametere.

Slamtørking og håndtering av tørket eller pyrolysert slam kan medføre støvdannelse og eksplosjonsfarlig atmosfære, noe som stiller krav til sikker utforming av anlegget. Pyrolyse av rent slam krever ofte at slammet pelleteres før behandling for å sikre stabil drift og håndtering. Formen på pelletene kan fortsatt være synlig i det pyrolyserte produktet, og det kan være nødvendig å forsterke pelletene ytterligere for å redusere støvdannelse og begrense sikkerhetsutfordringer ved lagring og transport av slambiomasse. I tillegg må pyrolysegass og avgasser håndteres og renses på en tilfredsstillende måte for å unngå luktproblemer og utslipp av uønskede forbindelser.

Tekniske barrierer for pyrolyse av kun trevirke / hage- og parkavfall

Trevirke samt hage- og parkavfall er generelt godt egnet for pyrolyse, men det er også tekniske utfordringer knyttet til håndtering, kvalitetssikring og prosessering av materialet. Materialet kan variere betydelig i størrelse, fuktighetsinnhold og sammensetning avhengig av sesong, innsamlingsmetoder og graden av forurensning. For å sikre stabil drift i pyrolyseanlegget er det derfor ofte behov for forbehandling i form av sortering, kverning og homogenisering av materialet.

Fuktighetsinnholdet i hage- og parkavfall kan være høyt, særlig for ferskt grøntavfall, noe som kan redusere energieffektiviteten og gjøre tørking nødvendig før pyrolyse. Variasjoner i partikkelstørrelse og densitet kan også påvirke varmeoverføring, oppholdstid og temperaturfordeling i reaktoren, og dermed gi ujevn kvalitet på biokullet.

Trevirke og hage- og parkavfall kan inneholde uønskede fraksjoner som jord, stein, plast, metall eller impregnert og malt trevirke. Slike forurensninger kan føre til driftsproblemer, økt slitasje på utstyr og redusert kvalitet på sluttproduktet. Det må derfor stilles krav til kildesortering, kvalitetskontroll og håndtering før pyrolyse.

Håndtering av biokull kan medføre støvdannelse og eksplosjonsfarlig atmosfære, noe som stiller krav til ventilasjon, eksplosjonssikring og sikker lagring. Pyrolyse av treholdig biomasse kan også gi dannelse av pyrolysegass, tjærestoffer og partikler som krever effektiv gassrensing og kontroll for å unngå driftsproblemer, lukt og utslipp. I tillegg kan energioptimalisering være utfordrende dersom overskuddsvarme fra prosessen ikke kan utnyttes lokalt eller integreres i andre energisystemer.

Tekniske barrierer for pyrolyse av slam sammen med trevirke

Samprosessering av slam og trevirke kan gi flere tekniske synergier ved at trevirket bidrar med høyere karboninnhold, bedre pyrolyseegenskaper og forbedrede håndteringsegenskaper. Dette kan bidra til bedre energibalanse, mer stabil drift og forbedret kvalitet på biokullet sammenlignet med rent slambiomasse. Samtidig medfører kombinasjonen av avfallsressurser ulike utfordringer knyttet til tørking, homogenisering, prosesskontroll og håndtering av aske og avgasser. Det er en mer kompleks forbehandlingsprosess sammenlignet med å pyrolysere materialene hver for seg. Sampyrolyse av trevirke og slam gir slambiomasse og må håndteres som avløpsslam ved bruk som gjødselvarer. Slambiomasse med og uten trevirkeinnblanding kan brukes som jordforbedring i landbruk og grøntanlegg dersom tungmetallgrenseverdiene og fosforbegrensningene i kg fosfor per dekar oppfylles.

7.3 Sikkerhetsbarrierer

Sintef har et forskningsprosjekt som heter EnergyProSafe hvor de har identifisert sikkerhetsutfordringer i hele verdikjeden for biokull, og de har sett på: produksjon (pyrolyse), lagring og transport og industriell bruk av biokullet.

Biokull kan være utsatt for selvoppvarming og i enkelte tilfeller selvantennning, noe som stiller krav til sikker lagring og transport. Risikoen skyldes i hovedsak at biokull har en stor spesifikk overflate og høy reaktivitet, som kan føre til langsomme oksidasjonsprosesser ved kontakt med oksygen. Disse reaksjonene er eksoterme og kan over tid gi varmeoppbygging i materialet.

Dersom varmen ikke ledes bort, for eksempel i større lagre eller i komprimerte masser, kan temperaturen øke til nivåer hvor ulmebrann eller åpen brann oppstår. Risikoen kan øke ved håndtering som tilfører oksygen, som omrøring eller flytting av materialet.

Videre kan faktorer som fuktighet, utilstrekkelig nedkjøling etter produksjon, fin partikkelstørrelse og lagringsforhold påvirke risikoen for selvoppvarming. Mikrobiologisk aktivitet har normalt begrenset betydning for biokull, men kan forekomme dersom materialet er fuktig og vært lagret over tid.

I tillegg må det tas hensyn til at biokull kan danne fint støv ved håndtering. Slike støvpartikler kan i luft danne eksplosive atmosfærer, spesielt i lukkede systemer som siloer, transportutstyr og ved fylling eller tømning av lagringsenheter. Dette stiller krav til støvreduserende tiltak, ventilasjon og vurdering av eksplosjonsvern (ATEX).

Ferskt biokull kan også avgi gasser, særlig karbonmonoksid (CO), som kan akkumuleres i lukkede rom og utgjøre en helsefare. Dette er særlig relevant ved lagring i konteinere, siloer eller andre begrensede volum, og det bør derfor etableres rutiner for ventilasjon og eventuell gassmåling før adgang.

Det må videre tas hensyn til at biokull kan inneholde varme kjerner eller glør etter produksjon. Ved håndtering eller økt tilgang på oksygen kan dette føre til re-antennning, selv om materialet fremstår som avkjølt. Tilstrekkelig kjøling og kontroll av temperatur før lagring og transport er derfor viktig.

Lagringsforhold som haugstørrelse, komprimering, lagringstid og ventilasjon har også betydning for sikkerheten, da disse faktorene påvirker varmeakkumulering og oksygentilgang i materialet. I tillegg kan fuktighet og værpåvirkning påvirke både kjemiske og fysiske egenskaper, og dermed risiko for selvoppvarming.

Samlet sett innebærer dette at sikker håndtering av biokull krever en helhetlig vurdering av brann- og eksplosjonsrisiko, gassdannelse, samt driftsmessige forhold knyttet til lagring, transport og håndtering.

7.4 Oppsummering

Biokull reguleres i gjødselvarereforskriftene og forurensingsloven hvis avløpsslam skal brukes til andre formål enn gjødselvarer. Gjødselvarereforskriften stiller krav til råvarer, produksjon og virksomheter må registreres hos Mattilsynet og enkelte råvarer må omsøkes særskilt, eksempel treavfall. Pyrolysert avløpsslam regnes ikke som biokull, men som avløpsslam, med strengere bruksbegrensninger enn for biokull. Pyrolyse av rent avløpsslam gir risiko for at sinkkonsentrasjonen overstiger grenseverdier for bruk i landbruk slik at det kun kan benyttes i grøntanlegg. Biokull kan sertifiseres gjennom europeiske sertifiseringsordninger EBC.

Ved teknisk bruk, som i byggematerialer og filtermateriale, kan det også kreves omfattende dokumentasjon i henhold til regelverk som REACH og byggt teknisk forskrift for bruk i bygg. Det må søkes om tillatelse til forurensningsmyndighet (Miljødirektoratet) dersom avfall, som avløpsslam, skal brukes til andre formål enn gjødselvarer. En slik søknad må inkludere en risikovurdering knyttet til f.eks. egnethet og miljørisiko ved bruk.

Av teknisk barrierer er utfordringene knyttet til transport, mellomlagring, jevn kvalitet til materialet, energioptimalisering, drift av pyrolyseanlegget, sikkerhet knyttet til brannfare og lager/etterbehandling av biokull. Anleggene krever tilgang på energi, jevnlig vedlikehold og ofte flere enheter for stabil drift, og valg av teknologi påvirker hvor mye biokull eller gass som produseres og valg av teknologi bestemmer også hvilke fraksjoner som kan pyrolyseres.

Sikkerhetsmessig kan biokull innebære risiko for selvoppvarming, brann, eksplosjoner og utslipp av farlige gasser. Dette gjør at lagring, ventilasjon og håndtering må være under kontroll for å redusere risiko.

8 Samfunnsøkonomisk vurdering

I dette kapittelet vil vi se på mulige gevinster og barrierer knyttet til biokull. Vi vil bruke samfunnsøkonomisk metodikk for å vurdere både potensialet for biokull basert på avfallsressursmengde, og se på om det er mulighet for et marked for biokull og dermed en inntekt fra markedet. En samfunnsøkonomisk vurdering vil kunne si noe om forutsetningene for vellykket gjennomføring og anbefaling av tiltak.

Produksjon og bruk av biokull kan gi en rekke samfunnsøkonomiske, miljømessige og praktiske gevinster for Oslo kommune. Miljøgevinstene knyttet til karbonlagring, forbedrede vekstforhold og potensielt renere vann er viktige bidrag i et samfunnsøkonomisk perspektiv. Særlig relevante er positive spillovereffekter, det vil si indirekte og ikke-planlagte effekter som oppstår som følge av tiltaket.

Et eksempel er behovet for betydelige investeringer i klimatilpasningstiltak i årene fremover for å redusere konsekvensene av økt nedbør og oversvømmelser. Dersom bruk av biokull kan bidra til å redusere belastningen på overvannssystemer og dermed begrense behovet for enkelte klimatilpasningstiltak, selv om dette ikke er hovedformålet med bruken, kan dette gi en ytterligere samfunnsøkonomisk gevinst.

I tillegg kan økt bruk av biokull bidra til nye arbeidsplasser, økt verdiskaping, styrket kompetanse innen miljøteknologi og en videre utvikling av sirkulærøkonomiske løsninger. Prosjektet kan også ha stor overføringsverdi til andre kommuner og bidra til at biokull får en viktigere rolle som klimatiltak nasjonalt

8.1 Problem, mål og mulige gevinster og barrierer

Oslo kommune har mål om å redusere kommunens samlede klimaavtrykk og bidra til økt sirkulær ressursbruk. Biokull kan gi flere former for samfunnsnytte, blant annet gjennom karbonlagring, bedre utnyttelse av organiske reststrømmer og bruk i kommunale tiltak. Analysen er gjennomført for å vurdere i hvilken grad ulike måter å produsere og bruke biokull på kan bidra til disse målene, og hvordan virkningene varierer med valg av avfallsressurser, teknisk løsning og bruksområder. Analysen gir en pekepinn på fremtidig lønnsomhet og bruk ved investering i et biokullanlegg. Før en investeringsbeslutning tas bør det gjennomføres grundige analyser av markedspotensialet og lønnsomhet.

8.1.1 Mulige barrierer

Dette kapittelet beskriver sentrale økonomiske barrierer knyttet til etablering og drift av et eventuelt pyrolyseanlegg.

Etablering av et pyrolyseanlegg er kapitalintensivt og forutsetter betydelige investeringer i prosessutstyr, tørkeløsninger og tilhørende infrastruktur. Samtidig er inntektsgrunnlaget avhengig av markedsforhold som i dag er preget av stor usikkerhet. Disse overordnede forutsetningene gir flere økonomiske barrierer knyttet til gjennomføring og økonomisk robusthet.

De betydelige investeringene som kreves innebærer høy kapitalbinding i en tidlig fase, før stabile inntekter eventuelt er etablert. Dette utgjør en økonomisk barriere ved at prosjektet får økt finansiell risiko, og blir mer sårbar for endringer i rammebetingelser og forutsetninger over tid.

Inntekter fra salg av biokull vil avhenge av kvalitet, bruksområde og markedsutvikling. Betalingsviljen varierer mellom ulike markeder, og det er knyttet usikkerhet til både prisnivå, volum og langsiktig etterspørsel. Dette gir en lite forutsigbar inntektsside, særlig i en tidlig fase av prosjektet.

I en oppstartsfase vil produksjonsvolumet trolig være lavere enn optimal kapasitetsutnyttelse. Dette kan medføre høye enhetskostnader per tonn behandlet materiale før eventuelle stordriftsfordeler realiseres. Kombinasjonen av høye investeringskostnader, usikker inntektsside og begrensede stordriftsfordeler kan samlet sett svekke prosjektets økonomiske robusthet i tidlig fase.

Det er knyttet usikkerhet til sikker håndtering av biokull ved transport og lagring. Biokull kan være utsatt for selvoppvarming og i enkelte tilfeller selvantennning som følge av oksidasjonsprosesser i materialet. Dette innebærer behov for tiltak knyttet til kjøling, lagringsforhold, ventilasjon og håndtering. Slike tiltak vil kunne

øke investerings- og driftskostnadene. I tillegg kan hendelser som ulmebrann eller brann i lager og under transport gi direkte økonomiske tap og i verste fall føre til større samfunnsmessige konsekvenser, særlig dersom hendelsen skjer nær bebyggelse eller kritisk infrastruktur.

Det er samtidig usikkerhet knyttet til etterspørsel etter biokull internt i Oslo kommune. Kartleggingen viser at det finnes potensielle bruksområder innen grøntanlegg, byutvikling og overvannsløsninger, men faktisk bruk vil være avhengig av kostnadsnivå, prioriteringer og grad av forankring i de enkelte etatene.

Fordelingseffekter kan oppstå avhengig av hvordan tiltaket finansieres. Dersom kostnadene dekkes gjennom selvkost eller gebyrer, kan dette påvirke husholdninger og næringsliv ulikt. Samtidig kan endret bruk av avfallsressursen, særlig trevirke, påvirke eksisterende markeder og verdikjeder der materialet i dag har en økonomisk verdi. Overgangen til biokullproduksjon kan dermed medføre både omfordeling av kostnader og bortfall av eksisterende inntektsstrømmer.

Til slutt er det en barriere knyttet til kompetanse internt i kommunen. Etablering og drift av et pyrolyseanlegg og en kommunal verdikjede for biokull forutsetter kompetanse innen råvarehåndtering, produksjon, sikker drift og anvendelse av produktet. Manglende intern kapasitet vil kunne medføre behov for ekstern bistand, som igjen øker kostnadene og kan påvirke gjennomføringsevnen.

8.1.2 Mulig gevinster

Etablering av en kommunal verdikjede for biokull kan gi flere potensielle gevinster, både økonomisk, miljømessig og organisatorisk. En sentral gevinst er knyttet til karbonlagring, hvor biokull kan bidra til å flytte karbon fra det korte biologiske kretsløpet til langsiktig lagring. Samtidig kan det på sikt åpne for inntekter gjennom karbonkreditter, gitt at produktet kan sertifiseres og dokumenteres.

Bruk av biokull kan også gi nytte i kommunal drift. Innen grøntanlegg og overvannshåndtering kan biokull bidra til bedre jordstruktur, økt vannlagringsevne og økt robusthet mot overvann og flom. Som igjen kan gi reduserte behov for andre tiltak og dermed lavere fremtidige kostnader til klimatilpasning.

En annen gevinst er knyttet til bedre ressursutnyttelse av organiske reststrømmer. Produksjon av biokull kan bidra til å utnytte avfallsressurser som i dag enten behandles til en kostnad eller inngår i lavverdi anvendelser. Dette kan gi reduserte behandlingskostnader, særlig for slam, samt økt verdiskaping gjennom produksjon av et nytt produkt.

Videre kan etablering av en biokullverdikjede bidra til lokal næringsutvikling og kompetansebygging. Teknologitvilling, drift av anlegg og utvikling av nye bruksområder kan gi økt kompetanse innen miljøteknologi og sirkulærøkonomi, og ha overføringsverdi til andre prosjekter og kommuner.

Dersom det etableres et fungerende marked, kan salg av biokull eller relaterte produkter gi en direkte inntektsstrøm. Samtidig kan bruk av biokull erstatte andre innsatsfaktorer i kommunal drift, som jordforbedringsmidler eller filtermaterialer, og dermed redusere innkjøpskostnader.

Samlet sett vil gevinstene være avhengig av faktisk bruk av biokull, markedsutvikling og i hvilken grad produktet erstatter eksisterende løsninger.

De juridiske barrierene må ses i sammenheng med de tekniske, økonomiske og markedsmessige barrierene, ettersom disse ofte er gjensidig avhengige. Uklare eller strenge regelverk knyttet til klassifisering av avfall, krav til produktkvalitet og dokumentasjon kan gjøre det vanskelig å etablere et stabilt marked for biokull produsert fra ulike avfallsstrømmer. Dette kan igjen redusere investeringsviljen og begrense utviklingen av nye verdikjeder, selv når de tekniske løsningene er tilgjengelige.

For å overkomme barrierene er det derfor behov for en helhetlig tilnærming. Harmonisering og tydeliggjøring av regelverk, standardiserte metoder for kvalitetsdokumentasjon og risikovurdering, samt utvikling av anerkjente sertifiseringsordninger kan bidra til å øke tilliten til biokullprodukter og legge til rette for markedsutvikling. Samtidig kan tettere samarbeid mellom myndigheter, forskningsmiljøer og næringsliv bidra til å dokumentere miljø- og klimaeffekter og gi et bedre kunnskapsgrunnlag for regelverksutvikling. Slike tiltak vil ikke bare redusere de juridiske barrierene, men også bidra til å redusere økonomisk risiko, styrke markedets tillit og fremme økt utnyttelse av avfallsbaserte råstoffer til produksjon av biokull.

Vi vil i de videre kapitlene forsøke å kvantifisere noen de mulige gevinstene og barrierene gjennom å gjøre en nytte-kostnadsvurdering.

8.2 Metode og forutsetninger for beregning av prissatte virkninger

Den samfunnsøkonomiske vurderingen er gjennomført som en forenklet vurdering av alternative løsninger, som blir omtalt som scenario 1, 2 og 3. Analysen bygger på prinsippene i Finansdepartementets rundskriv R-109 (Finansdepartementet, 2021) og Direktoratet for forvaltning og økonomistyrings veileder for samfunnsøkonomiske analyser (DFØ, 2026). Metoden legger opp til at prissatte og ikke-prissatte virkninger identifiseres, beskrives og vurderes samlet over en definert analyseperiode. Oppsettet er tilpasset et tidlig beslutningsnivå. Beregningene bygger derfor på grove anslag og forenklete sammenstillinger. Hensikten er å vise størrelsesorden, retning og robusthet, ikke et presist lønnsomhetstall.

Analysen er bygget opp med to tilnærminger som utfyller hverandre. Først er mulighetsrommet belyst ved å ta utgangspunkt i avfallsressursmengder og beregne et teoretisk potensial for biokullproduksjon og verdien av dette ved full utnyttelse. Dette viser en øvre ramme, men er ikke nødvendigvis et realistisk gjennomføringsnivå. Deretter er det gjort en vurdering som tar utgangspunkt i hvor det forventes bruksområder og inntekt fra det frie markedet.

Scenarioer

Scenarioer er brukt fordi valg av avfallsressurs påvirker energibehov, teknisk kompleksitet, produktkvalitet og hvilke bruksområder som er realistiske. Analysen vurderer tre scenarioer som representerer ulike hovedretninger for en kommunal modell.

Scenario 1: Bare slam (utråtnet avløpsslam og vannverksslam)

Scenarioet tar utgangspunkt i utnyttelse av kommunale slamstrømmer. Fordelen er tilgang på store mengder. Ulempen er høyt vanninnhold og lavt karboninnhold, som gir høyt energibehov til tørking før pyrolyse. Bruksområdet kan være mer begrenset, særlig for avløpsslam, der innhold av forurensninger kan påvirke anvendelse og aksept. Scenarioet gir derfor et smalere bruksom og større tekniske barrierer for stabil drift.

Scenario 2: Utråtnet slam og vannverksslam kombinert med avfallstrevirke og hage- og parkavfall

Scenarioet vurderer en løsning der slam blandes med tørrere og mer karbonrike fraksjoner. Hensikten er å øke tørrstoff- og karboninnhold før pyrolyse. Dette kan gi bedre energi- og driftsbalanse og redusere behovet for ekstern energi til tørking. Løsningen kan også gi et biokullprodukt som passer flere kommunale bruksområder. Ulempen er mer krevende forbehandling og logistikk, blant annet knyttet til sortering, kverning, lagring og eventuelt pelletering. Gevinsten blir mer avhengig av faktisk bruk i kommunal drift.

Scenario 3: Bare trevirke og hage- og parkavfall

Scenarioet tar utgangspunkt i avfallsressurs med høyt tørrstoff- og karboninnhold. Dette gir gunstige forutsetninger for energibruk og stabil drift. Bruksområdet kan være bredt, særlig i urbane grøntanlegg og naturbaserte overvannstiltak. Scenarioet bidrar ikke til håndtering av slamstrømmer. Tilgangen på egnet materialet kan være sesongavhengig og påvirkes av eksisterende mål om materialgjenvinning.

Usikkerhet

Usikkerheten i analysen er høy. Det gjelder teknologiutvikling (spesielt når det gjelder forbehandling og etterbehandling), energipriser, regelverk, dokumentasjonskrav og faktisk opptak av biokull i kommunal drift. Det gjelder også framtidig verdsetting av karbon. Scenarioene og sensitivitetsvurderingene er brukt for å belyse hvordan resultatene varierer med sentrale forutsetninger.

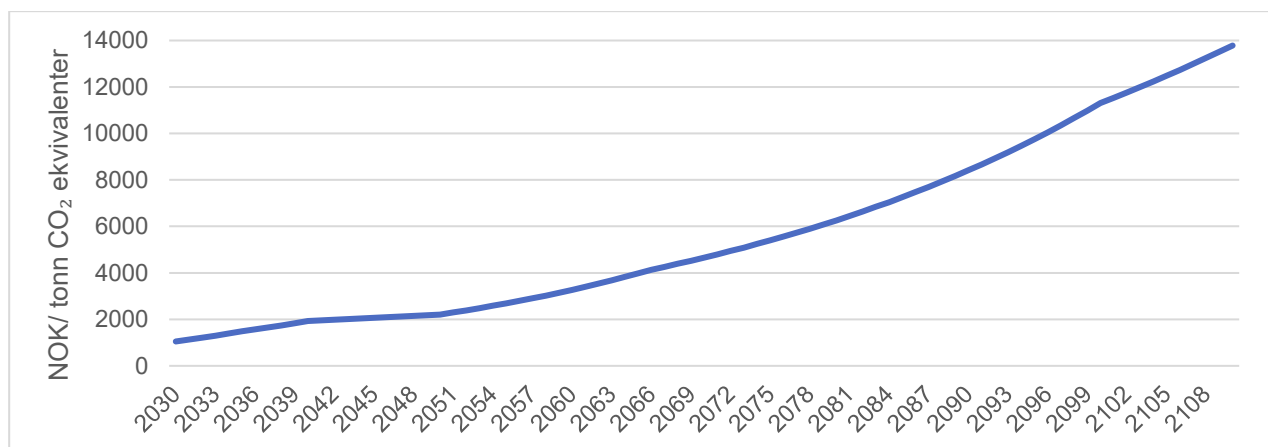
8.2.1 Andel biokull, CO₂ for hvert scenario og CO₂ prisbane

Det er lagt til grunn noen forutsetninger for å finne andel biokull og lagret CO₂ for hvert av scenarioene. Scenario 1 er bare utråtnet avløpsslam og vannverksslam (*kun slam*), scenario 2 er en blanding med 32% avløpsslam, 8% vannverksslam og 60% trevirke (*slam og trevirke*). Blandingsforholdet er basert på tester gjennomført av Lindum. Scenario 3 er bare trevirke og hage- og parkavfall (*trebasert*), se Tabell 8-1.

Tabell 8-1 Forutsetninger for andel karbon i biokull og lagret CO₂ ekvivalenter

Scenario	Avfalls-ressurs-mengde	Tørrstoff-andel	Mengde Tørrstoff	Biokull-andel	Biokull produsert	Andel karbon i biokull	Karbon i biokull	Stabil andel	Stabilt karbon	Lagret CO ₂ ekv.
	<i>tonn våtvekt</i>	-	<i>tonn TS</i>	-	<i>tonn</i>	-	<i>tonn</i>	-	<i>tonn</i>	<i>tonn CO₂</i>
Scenario 1 Kun slam	29 200	0,25	7 482	0,74	5 537	0,36	1 993	0,65	1 296	4 750
Scenario 2 Slam og trevirke	32 245	0,43	13 916	0,36	5 010	0,66	3 306	0,70	2 315	8 487
Scenario 3 Trebaset	36 569	0,57	20 948	0,36	7 541	0,86	6 448	0,85	5 481	20 095

For å finne nytteverdien av binding av karbon som CO₂ ekvivalenter er Finansdepartementets karbonprisbane til bruk i samfunnsøkonomiske analyser lagt til grunn for kvotepliktig utslipp, se Figur 20. Det ble vurdert å legge til grunn inntekter fra karbonsertifikater i det frivillige karbonmarkedet. Muligheten for slik omsetning avhenger imidlertid av hvilke avfallsressurser som inngår i biokullproduksjonen.



Figur 20 Karbonprisbanen for bruk i samfunnsøkonomiske analyser i 2025 (Finansdepartementet), (2024)

8.2.2 Investeringskostnad og drift- og vedlikehold

Det gjort et grovt estimat av investeringskostnaden og drift- og vedlikehold av de ulike scenarioene, se Tabell 8-2. Scenario 2 med både slam og trevirke vil ha det største investeringsbehovet, mens scenario 3 med bare trevirke vil ha det minste. Det er et grovt estimat med høy usikkerhet knyttet til tallene.

Tabell 8-2 Investeringskostnad og drift- og vedlikehold i mill. NOK.

	Scenario 1 (kun slam)	Scenario 2 (slam + trevirke)	Scenario 3 (trebasert)
Investeringskostnad	1.100	1.700	835
Drift- og vedlikehold (Årlig kostnad)	19	41	22

8.2.3 Alternativkostnader

De ulike avfallsressursene som er vurdert til bruk av å produsere biokull har i dag en anvendelse. Det kan enten være at det blir solgt som for eksempel kompost og derfor har en inntektsside som bortfaller, eller at det blir behandlet og har en kostnad. Vi kaller dette for alternativkostnaden for råvarestoffet.

Utråtnet avløpsslam (VAV)

Dagens kostnad er antatt å være mellom 400-600 kr/tonn hentet på Bekkelaget og ferdig spredt. Sannsynlig økning i dagens pris grunnet endringer i gjødselveforskriften og spredetidspunkt er satt til 600 kr / tonn. Fremtidig pris om ca. 5 år mellom 800-1000 kr/tonn.

Med slammengder på ca. 21.200 tonn/år koster dette Oslo kommune ca. 12.720.000 kr/år. Hvis prisen om fem år øker til nærmere 1.000 kr/tonn koster slamhåndteringen 21.200.000 kr/år uten at man har tatt hensyn til økte slammengder.

Vannverksslam (VAV)

Det antas at dagens kostnad er 250 kr/tonn. Det er ikke samme bruksbegrensninger som avløpsslam og derfor enklere å finne nedstrømskunder. Med dagens vannverksslammengder på 8.000 tonn koster dette Oslo kommune 2.000.000 kr/år.

Avfallstrevirke (REG)

Avfallstrevirke som er sortert og fliset opp har en verdi og selges derfor til de som omsetter dette for flisfyring, antar 30-40% fuktinnhold. Det antas at verdien er mellom 275 og 325 kr per tonn flis og at transportkostnaden er 100-150 kr/tonn. Forutsetning i beregningen er derfor en verdi på 300 kr/tonn og kostnad på 125 kr /tonn for frakt. Det er kjent at prisen for treflis varierer svært mye gjennom sesongen og mellom år avhengig av lagerstatus og fyringsbehov. Oslo kommune leverer kun trevirke som ikke er fliset opp. Vi antar at prisen på trevirke er 1/3 av prisen sammenlignet med ferdig sortert fliset virke.

Med dagens avsetting av trevirke har kommunen en inntekt på 100 kr/tonn * 2.000 tonn/år som gir en inntekt på 200 000 kr/år

Hage- og parkavfall (BYM og REG og Gravferdselsetaten)

Oslo kommune samler inn, kverner og fliser opp innlevert hage- og parkavfall fra innbyggere og fra de andre etatene som leverer slikt avfall. Etterpå komposteres avfallet og siktes før salg. Oslo-kompost er rent hage- og parkavfall og toppjord er kompost tilsatt natursand. Oslo-kompost omsettes i bulk til en verdi mellom 352 og 440 kr/tonn inkl. mva. avhengig av grovheten på komposten hvor den fineste komposten er dyrest. Toppjord selges for mellom 232 og 368 kr/tonn. Det antas at ett tonn toppjorden inneholder 333 kg sand. De selger også dekkflis til 860 kr/tonn som er flis fra gartnere etter kortere tids kompostering. Det antas at dette er kommunes treavfall fra BYM. Det antas at komposten omsettes til en pris som dekker kostnaden for produksjon av kompost.

For å beregne kostnaden for produksjon av kompost har vi tatt utgangspunkt i 10.000 tonn produsert kompost i bulk (Fagforbundet, 2025) og 60.000 sekker à 20 liter som tilsvarer ca. 1.000 tonn. Med en gjennomsnittspris på 500 kr / tonn. Det betyr at dagens omsetting tilsvarer ca. 5.000.000 kroner og at dette dekker Oslos kommunes kostnader med selve produksjonen. I beregningen har vi ikke inkludert pris for sand som antas å bli kjøpt inn.

Regjeringen har innført forbud om uttak av torv fra nye myrområder og i regjering meldingen fra desember 2025 har de vurdert at eksisterende myrer har en gjennomsnittlig levetid på 15 år. Det betyr at komposten vil få en større verdi i fremtiden da billige torvprodukter ikke vil være tilgjengelig, og det vil være mulig med en høyere salgspris. Utsalgspris for torvfrie dyrkingsmedium i butikk i dag er ca. 150 kr (inkl. mva) per 40 liter. Hvis en sekk veier 20 kg, blir salgsprisen ca. 6.000 kr (eks mva.) per tonn.

Skog og landskap (BYM)

Hage- og parkavfall og treavfall som leveres til produksjon Oslo-kompost er holdt utenfor, men ca. 200 til 400 tonn virke flises og leveres som flis til flisfyringsanlegg. Verdien av flisen er estimert å være 300 kr/tonn og Oslo kommune har en inntekt mellom 60.000 og 120.000 kr/år. Vi antar at fraktkostnader dekkes av kjøper.

Samlet

Det blir for utråtnet avløpsslam og vannverksslam da en besparelse av kostnader ved at man ikke trenger å disponere slammet med dagens kostnad. For avfallstrevirke, hage- og parkavfall og trevirke fra skog og landskap blir det en tapt inntekt. For hage- og parkavfall vil tapet av inntekt være det avfallet innbyggerne kunne brukt til å kjøpe kompost. Se Tabell 8-3 for alternativkostnadene for ulike avfallsfraksjoner.

Tabell 8-3 Oversikt over alternativkostnader i NOK per år.

	Pris per tonn	Alternativkostnad
Avløpsslam (VAV)	- 900	- 19.080.000
Vannverksslam (VAV)	- 250	- 2.000.000
Trevirke (REG)	100	200.000
Hage- og parkavfall (kompost)	910	9.100.000
Skog og landskap (BYM)	300	90.000

8.2.4 Energiutbytte

Energiutbytte er beregnet som netto energiproduksjon fra pyrolyseprosessen, basert på en forenklet energibalanse for hvert scenario. Beregningene tar utgangspunkt i anslått energiproduksjon (primært som varme/fjernvarme og elektrisitet), fratrullet energibehov til drift og tørking.

I analysen er energibehovet særlig knyttet til tørking av fuktige materialer, som utråtnet avløpsslam, hvor det er lagt inn et betydelig energiforbruk. Samtidig er det for hvert scenario lagt inn en brutto energiutbytte, som varierer mellom avfallsressursene. For eksempel gir rene tørre fraksjoner som trevirke et høyere netto energiutbytte enn slam, blant annet fordi energibehovet til tørking er lavere eller fraværende.

Energiutbyttet er videre verdsatt ved bruk av enhetspriser for ulike energiformer (strøm, propan og fjernvarme) og omregnet til årlige kostnader eller inntekter. Dette gir et økonomisk uttrykk for energistrømmen i hvert scenario, som inngår på nyttesiden i den samfunnsøkonomiske analysen. Samlet innebærer dette at netto energiutbytte varierer betydelig mellom scenariene, og er særlig følsomt for materialenes sammensetning og antakelser om tørkebehov.

8.2.5 Anvendelse og mulig salg av biokull

Det er krevende å fastsette en presis alternativkostnad. Biokullet kan få ulike egenskaper og bruksområder. Det vil heller ikke nødvendigvis erstatte dagens løsninger for overvann, men komme som et supplement som samlet kan bidra til bedre klimatilpasning, for eksempel ved stormflo. Vi har derfor brukt en skyggepris på 1000 kroner per tonn som vil være med i beregningen som nytteverdi av biokullet til intern bruk i kommunen.

Videre er det sett på mulig markeder og salg av biokull. Biokull har en lav salgsverdi i for eksempel landbruk, og derfor må verdien av biokull hentes fra aktører som har behov for karbonkreditter eller kunder som ønsker biokull. Biokull til grøntanlegg i bulk selges for 3.500 kr/m³ eks mva. hos Øras. Antatt tetthet er 200 kg/ tonn og tonnprisen for biokull bli 17.500 kr/ tonn. Hvis man har ett tonn biokull av treflis med 90 % karbon vil man ha 900 kg karbon og en kg C tilsvarer 3,67 kg CO₂ ekvivalenter. Ett tonn biokull av treflis representerer 3,3 tonn CO₂. Med en antatt pris på det frivillige karbonmarkedet på 300 € per tonn CO₂, som er middels nivå, tilsvarer ett tonn biokull en verdi på 10.900 kr. Man har også sett høyere pris hvis materialet er sertifisert og har høy sporbarhet, opp mot 1000 € per tonn CO₂ som tilsvarer 36.300 kr per tonn CO₂. Karbonkreditter får man først hvis man sertifiserer produktet og omsetter dette i det frivillige karbonmarkedet. Dette er en prosess som tar tid, men som gir mulighet for å øke verdien på biokullet. Verdien av biokullet som CO₂ lagring handler om hvor mye karbon som kan lagres per tonn biokull og hvordan den brukes. Det er lagt til grunn at sertifikater blir solgt for en høyere verdi enn karbonprisbanen til Finansdepartementet. Det er derfor lagt til 20% på CO₂ prisbanen i beregningene. Det er bare gjort for beregningen av scenario 3 med bare trevirke da dette er det biokullet som er mest sannsynlig omsettelig på karbonmarkedet.

Det er videre innhentet priser fra aktører som i dag selger biokull. Øras selger i dag paller med biokull som tilsvarer en pris per tonn på 11.667 kroner. Det er sett på en tilsvarende pris til biokullet i scenario 3 med bare trevirke. For de andre scenarioene er det brukt en pris på 5.000 kroner grunnet tettheten i biokullet.

8.2.6 Andre økonomiske forutsetninger

Analysen er gjennomført med en analyseperiode på 75 år og bruk av nåverdimetoden. Det er anvendt Finansdepartementets anbefalte trinnvise kalkulasjonsrente i Tabell 8-4.

Tabell 8-4 Trinnvis kalkulasjonsrente fra Finansdepartementet. (Finansdepartementet, 2021)

Periode	Kalkulasjonsrente
År 0–40	4 %
År 41–75	3 %
År 76+	2 %

Prissatte virkninger omfatter investeringskostnader, drift og vedlikehold, endringer i håndteringskostnader for avfallsressursen og prissatt nytte av karbonlagring. Karbonlagring er verdsatt med CO₂-prisbanen fra Finansdepartementet. I tillegg er det belyst en alternativ karbonverdi basert på karbonsertifikater når vi ser på mulige markeder. Inntekter fra salg av biokull er satt til null i grunnberegningen fordi det ikke finnes et etablert marked med dokumentert betalingsvilje for de aktuelle produktkategoriene i dag. Beregningene reflekterer derfor primært verdien av intern bruk, sparte kostnader og alternativkostnader.

Det er ikke alle effektene vi vil klare å kvantifisere, de vil bli vurdert kvalitativt.

8.3 Samfunnsøkonomisk vurdering av potensialet, basert på mengder

Det er gjort beregninger basert på total mengde avfallsressurser for å vise potensialet av biokull. Tabellene nedenfor (Tabell 8-5,

Tabell 8-6 og Tabell 8-7) viser de ulike kostnad- og nyttekomponentene over analyseperioden på 75 år for hvert av de tre scenarioene. For scenario 2 og 3 vil vi få en negativ alternativkostnad fordi det er en tapt inntekt med trevirket som kunne bli brukt til noe annet, for scenario 1 derimot er det en besparelse av dagens disponering av slammet. Det er ikke tatt med transport til sluttbruker i noen av scenarioene.

Tabell 8-5 Nåverdiberegning av scenario 1 (kun slam) i mrd. NOK over 75 år.

Scenario 1 (kun slam)	
Kostnader	
Investeringskostnad	- 1.100
Drift og vedlikehold	- 480
Energibehov tørking	- 135
Totalt kostnader	- 1.715
Nytte	
Energiutbytte	101
Binding av CO ₂	373
Internt bruk i Oslo kommune	140
Alternativkostnad	533
Total nytte	1.147
Netto nytte	- 569

Tabell 8-6 Nåverdiberegning av scenario 2 (slam + trevirke) i mrd. NOK over 75 år.

Scenario 2 (slam + trevirke)	
Kostnader	
Investeringskostnad	- 1.700
Drift og vedlikehold	- 1 036
Energibehov tørking	- 135
Totalt kostnader	- 2.871
Nytte	
Energiutbytte	823
Binding av CO ₂	666
Internt bruk i Oslo kommune	84
Alternativkostnad	- 59
Total nytte	1.514
Netto nytte	- 1.358

Tabell 8-7 Nåverdiberegning av scenario 3 (avfallstrevirke og hage- og parkavfall) mrd. NOK over 75 år.

Scenario 3 (trebasert avfallsressurser)	
Kostnader	
Investeringskostnad	- 835
Drift og vedlikehold	- 556
Energibehov tørking	----
Totalt kostnader	- 1.391
Nytte	
Energiutbytte	359
Binding av CO ₂	1.576
Internt bruk i Oslo kommune	191
Alternativkostnad	- 59
Total nytte	2.066
Netto nytte	675

Oppsummert er det scenario 3 som kommer best ut av den prissatte delen av samfunnsøkonomiske vurderingen. Dette kommer av at scenario 3 har en lavere investeringskostnad, og drift og vedlikeholdskostnad, primært som følge av en enklere og mindre energikrevende forbehandling. Dette gir også et høyere netto energiutbytte og en høyere binding av CO₂ på grunn av egenskapene til biokullet.

Scenario 1 har en høyere investering- og driftskostnad og et lavere direkte nytteverdi enn Scenario 3. En viktig faktor for analysen er her alternativkostnaden for Oslo Kommune ved håndtering av slammet. En dobling av alternativkostnaden vil gi en tilnærmet 0 i netto nytte.

Scenario 2 vil være et mer komplekst anlegg og vil ha høye investerings- og driftskostnader samtidig som vi ikke ser en tilsvarende økning i nytteverdiene.

Det er viktig å fremheve at det er store usikkerheter i både på kostnads og spesielt inntektssiden i analysen og resultatene vil endres f.eks ved endrede betingelser for alternativkostnader og verdsettelse av intern bruk i Oslo Kommune. Disse vurderingene er videre belyst i kapittel 8.4.

Tabell 8-8 Oppsummering av nåverdiberegningen for de ulike scenarioene i mrd. NOK med rangering.

	Scenario 1 (kun slam)	Scenario 2 (slam + trevirke)	Scenario 3 (trebasert)
Netto nytte	- 569	- 1.358	675
Rangering	2	3	1

Vi har i denne vurderingen forsøkt å prissette de fleste relevante virkningene knyttet til etablering av en biokullverdikjede. Samtidig er det en grunnleggende begrensning at ikke alle effekter lar seg prissette uten stor usikkerhet, særlig i en tidlig fase. Det er derfor betydelig usikkerhet både i nivået på de prissatte virkningene og i grunnlaget for kvantifisering.

En viktig virkning som kun delvis er fanget opp, er verdien av økt sirkulær ressursutnyttelse, særlig knyttet til bruk av avløpsslam hvis avløpsslam kan erstatte aktivt kull i kvartærrensing. Kostnader ved håndtering av slam er inkludert i beregningene. Analysen fanger i mindre grad opp merverdien som kan oppstå dersom slam inngår i produksjon av biokull med et reelt og nyttig bruksområde.

Tilsvarende gjelder effekter knyttet til klimatilpasning og andre miljøgevinster. Alternative bruksområder i kommunen er delvis reflektert i analysen. Samtidig er flere potensielle gevinster krevene å verdsette. Dette gjelder for eksempel bedre vannhåndtering, økt jordkvalitet og økt robusthet mot ekstremvær. Disse effektene er derfor i begrenset grad inkludert.

Disse ikke-prissatte virkningene trekker samlet i retning av høyere nytte enn det som fremkommer av de prissatte resultatene.

8.3.1 Usikkerhet

En sentral usikkerhet som påvirker resultatene er andel tørrstoffandel, da dette vil påvirke biokull produsert og lagret CO₂. Vi har sett på at mengden tørrstoff blir redusert med 10% og øker med 10%, se Tabell 8-9. Med en reduksjon får vi en reduksjon i netto nytte, og med en økning får vi økt netto nytte. En endring på 10% gir spesielt høye utslag for scenario 3 (*trebaserte avfallsressurser*).

Tabell 8-9 Oppsummering av nåverdiberegningen for de ulike scenarioene med ulike tørrstoffandeler i mrd. NOK.

Netto nytte	Scenario 1 (kun slam)	Scenario 2 (slam + trevirke)	Scenario 3 (trebasert)
Lavere tørrstoffandel	- 620	- 1.433	499
Opprinnelig	- 569	- 1.358	675
Høyere tørrstoffandel	- 518	- 1.283	852

Investeringskostnad er også en sentral usikkerhet og vi har sett på hvordan en økning på investeringskostnaden med 20% påvirker netto nåverdiberegningen (Tabell 8-10).

Tabell 8-10 Oppsummering av nåverdiberegningen for de ulike scenarioene med økt investeringskostnad i mrd. NOK.

Netto nytte	Scenario 1 (kun slam)	Scenario 2 (slam + trevirke)	Scenario 3 (trebasert)
Opprinnelig	- 569	- 1.358	675
20% høyere investeringskostnad	- 789	- 1.623	508

Det er også sett på befolkningsframskrivninger for Oslo kommune og hvordan dette påvirker resultatet. Det hadde lite innvirkning på netto nåverdien.

Lokalisering

I de tekniske vurderingene er det lagt til grunn at et eventuelt felles pyrolyseanlegg lokaliseres i betydelig avstand (50 km) fra både Oset vannbehandlingsanlegg og Bekkelaget renseanlegg. Den relativt lange avstanden kan medføre økte kostnader knyttet til transport, og dermed bidra til økt behandlingskostnad per tonn. Dette kan svekke kostnadseffektiviteten i produksjonen sammenlignet med løsninger med kortere transportavstander, uten at selve gjennomføringen av produksjonen nødvendigvis hindres.

Lokaliseringen innebærer samtidig begrenset nærhet til eksisterende fjernvarmenett og andre stabile energibrukere. Dette kan redusere muligheten for ekstern utnyttelse av spillvarme fra pyrolyseprosessen, og dermed begrense mulige inntekter knyttet til energileveranser. Manglende energiintegrasjon kan også innebære at anlegget i større grad må være selvforsynt med hensyn til energi- og prosessløsninger, noe som kan bidra til høyere investerings- og driftskostnader enn ved mer integrerte løsninger.

8.4 Samfunnsøkonomisk vurdering av potensialet, basert på bruksområder og markedsmuligheter

Det er vurdert potensialet av salg av biokull på markedet. Det som er det mest nærliggende markedsmuligheten er salg av sertifikater for scenario 3, da det bare er trevirke som vil gi biokullet egenskaper som gjør at det kan bli utstedt sertifikater slik markedet er i dag. Tabell 8-11 viser beregningen med 20% økt CO₂ pris på det frie markedet. Scenario 3 får da en netto nytte på nærmere en milliard kroner.

Tabell 8-11 Nåverdiberegning med salg av sertifikater for scenario 3 (trevirke og hage- og parkavfall) i mrd. NOK.

Scenario 3 – CO ₂ sertifikater (trebaserte avfallsressurser)	
Kostnader	
Investeringskostnad	- 835
Drift og vedlikehold	- 556
Energibehov tørking	----
Totalt kostnader	- 1.391
Nytte	
Energiutbytte	359
Binding av CO ₂	1 892
Anvendelse av biokull	191
Alternativkostnad	- 59
Total nytte	2.382
Netto nytte	991

Det er også sett på salg av biokull på det frie markedet, se Tabell 8-12, Tabell 8-13 og Tabell 8-14. Det er tatt utgangspunkt i at alt biokullet som blir produsert også blir solgt, dette er trolig en ganske urealistisk, men viser potensialet for biokull.

Tabell 8-12 Nåverdiberegning med salg av biokull for scenario 1 (avløpsslam og vannverkslam) i mrd. NOK

Scenario 1 – Salg av biokull (kun slam)	
Kostnader	
Investeringskostnad	- 1.100
Drift og vedlikehold	- 480
Energibehov tørking	- 135
Totalt kostnader	- 1 715
Nytte	
Energiutbytte	101
Binding av CO ₂	373
Salg av biokull	700
Alternativkostnad	533
Total nytte	1.706
Netto nytte	- 9

Tabell 8-13 Nåverdiberegning med salg av biokull for scenario 2 (blanding av avløpsslam, vannverkslam og avfall trevirke) i mrd. NOK

Scenario 2 – Salg av biokull (slam + avfallstrevirke)	
Kostnader	
Investeringskostnad	- 1.700
Drift og vedlikehold	- 1.036
Energibehov tørking	- 135
Totalt kostnader	- 2.871
Nytte	
Energiutbytte	823
Binding av CO ₂	666
Salg av biokull	975
Alternativkostnad	- 59
Total nytte	2.405
Netto nytte	- 466

Tabell 8-14 Nåverdiberegning med salg av biokull for scenario 3 i mrd. NOK.

Scenario 3 – Salg av biokull (trebasert avfallsressurser)	
Kostnader	
Investeringskostnad	- 835
Drift og vedlikehold	- 556
Energibehov tørking	----
Totalt kostnader	- 1.391
Nytte	
Energiutbytte	359
Binding av CO ₂	1.576
Salg av biokull	2.223
Alternativkostnad	- 59
Total nytte	4.099
Netto nytte	2.708

Tabell 8-15 viser de ulike scenarioene med salg opp mot hverandre. Det er fortsatt kun scenario 3 som gir positiv netto nytte. Som nevnt viser dette et potensial, og forutsetter at alt biokull blir solgt.

Scenario 1 er mindre negativt enn tidligere når salg inkluderes. Dette illustrerer at dersom det finnes et marked for biokull produsert med slam, kan også denne typen anlegg bli lønnsom. Dersom de miljømessige fordelene som ikke er kvantifisert også tas med i vurderingen, vil scenario 1 fremstå som et mer attraktivt alternativ.

Det er samtidig usikkert i hvilken grad markedet for biokull vil gi ytterligere samfunnseffekter. Dette gjelder blant annet bruk til overvannshåndtering eller som erstatning for eksempel hydrogel, som er et produkt med et tredimensjonalt polymernetverk som kan absorbere og holde tilbake store mengder vann. En annen mulig positiv effekt er at biokull erstatter eksisterende produkter, noe som kan redusere utslipp fra produksjonen av disse. Dette kan for eksempel gjelde materialer som brukes i rensing av avløpsvann.

Tabell 8-15 Oppsummering av potensiale for salg av sertifikater (senario 3-CO₂) og salg av biokull med rangering mellom scenarioene i mrd. NOK

	Scenario 1 (kun slam)	Scenario 2 (slam + trevirke)	Scenario 3 – CO ₂ (trebasert)	Scenario 3 - (trebasert)
Netto nytte	- 9	- 466	991	2.708
Rangering	3	4	2	1

Vi har videre begrenset kunnskap om hvordan markedet og den regulatoriske utviklingen vil utvikle seg fremover. I det videre arbeidet kan det derfor være relevant å se nærmere på hvilke produkter biokull kan erstatte. Dette vil gjøre det mulig å kvantifisere gevinster bedre, og i større grad fange opp effekter langs hele verdikjeden. Dette gjelder særlig gevinster knyttet til lokal produksjon og bruk av avfallsressurser som slam, hvor biokull kan erstatte eksisterende produkter og samtidig bidra til økt ressursutnyttelse.

8.5 Forutsetninger for vellykket gjennomføring og samlet vurdering

Gjennomføring av en kommunal verdikjede for biokull forutsetter flere forhold knyttet til avfallsressursen, kostnader, anvendelse og marked. Det må være stabil tilgang over tid, og sammensetningen har stor betydning for både kostnader, karbonbinding og hvor krevende løsningen er å gjennomføre. Materialer med høyt fukttinnhold, som avløpsslam, vil kreve mer forbehandling, blant annet tørking, noe som øker kostnadsnivået på både på investering og drift, herunder energi.

Det er også en forutsetning at både energi og biokull faktisk kan tas i bruk. Inntekter knyttet til karbon og salg av biokull forutsetter fungerende marked, priser og dokumentasjon av karbonbinding. Uten dette vil en del av den beregnede nytten ikke realiseres.

De tre scenariene skiller seg i hovedsak i type materiale og kompleksitet. Scenario 1 er basert på utrånnet avløpsslam og vannverkslam og har et moderat kostnadsnivå, men krever mer håndtering. Scenario 2 kombinerer flere typer avfallsressurser og større volum, noe som gir høyere kostnader og mer kompleks gjennomføring. Scenario 3 er basert på avfallstrevirke og hage- og parkavfall, og fremstår som enklere å gjennomføre, med lavere kostnader og færre praktiske utfordringer.

Den samlede vurderingen påvirkes av om en inkluderer inntekter eller ikke. Uten inntekter er det særlige kostnadsnivået som skiller alternativene, og løsninger med enklere materialstrømmer kommer best ut. Når inntekter inkluderes, forbedres resultatene i alle scenarier, men samtidig øker usikkerheten. Dette gjelder særlig inntekter fra karbon og salg av biokull, som er avhengig av forhold som ikke er avklart.

Med de forutsetningene som er lagt til grunn, kommer scenario 3 samlet sett best ut. Dette skyldes en kombinasjon av lavere kostnader, enklere gjennomføring og høyere karbonbinding enn de øvrige

scenariene. Scenario 1 og 2 trekkes ned av høyere kostnader knyttet til håndtering av slam, og scenario 2 i tillegg av høyere kompleksitet.

Samtidig er resultatene usikre. Flere sentrale forutsetninger, blant annet kostnader, energibehov, tilgang på avfallsressurs og inntektsmuligheter, er basert på grove anslag. Endringer i disse kan påvirke både nivået på nytten og forskjellene mellom scenariene. Det er også sett bort fra reinvestering i denne analysen. Dette innebærer at den langsiktige lønnsomheten kan være overvurdert, ettersom reinvesteringer vil øke de samlede kostnadene. Samtidig kan endringer i forutsetningene om kostnader, energipriser, tilgang på avfallsressurs og inntekter enten styrke eller svekke resultatene, avhengig av hvordan de utvikler seg. Resultatene bør derfor tolkes som et estimat basert på de forutsetningene som er lagt til grunn, snarere enn som en presis beregning av samfunnsøkonomisk nytte.

Samlet sett peker analysen på at scenario 3 med trebasert biokull fremstår som det beste alternativet, gitt de forutsetningene som er lagt til grunn. Samtidig kan scenariene med slambasert biokull også bli lønnsomme dersom det utvikles et marked for denne typen biokull, herunder potensielle inntekter fra karbonkreditter. Alle scenariene har et betydelig sirkularitetspotensial som ikke er tallfestet i analysen, men som kan være viktig for å nå Oslo kommunes klimamål. Dersom disse effektene ble verdsatt, ville den samfunnsøkonomiske nytten av scenariene trolig vært høyere enn det analysen viser. En full vurdering av slike indirekte miljø- og samfunnsgevinster er ikke inkludert i analysen, da dette vil kreve egne analyser, som for eksempel livsløpsanalyser og sirkularitetsvurderinger, samt et mer detaljert datagrunnlag for å kunne gjennomføre en økonomisk verdsetting. Uavhengig av scenario kan produksjon og bruk av biokull bidra til å redusere Oslo kommunes samlede klimaavtrykk og styrke en mer sirkulær ressursbruk ved å utnytte organiske avfallsressurser, legge til rette for materialgjenvinning og erstatte jomfruelige råvarer.

9 Konklusjon og anbefaling

Mengder organiske avfallsressurser, potensial for biokullproduksjon og behov internt

Oslo kommune har organiske avfallsressurser (eksklusive matavfall) tilsvarende om lag 66 500 tonn per år med ulikt vanninnhold. Dersom hele ressursgrunnlaget pyrolyseres til biokull, er det beregnet et produksjonspotensial på om lag 13 100 tonn biokull per år. Ved forsvarlig bruk av biokullet vil dette kunne gi en netto karbonlagring tilsvarende rundt 25 000 tonn CO₂-ekvivalenter per år.

Kartleggingen viser at Oslo kommune i dag har et estimert behov for om lag 950 tonn biokull per år knyttet til etablering av grøntanlegg og vegetasjon langs vei. Dersom det kan dokumenteres at trebasert biokull, med eller uten innblanding av avløpsslam, kan benyttes som rensemedium i forbindelse med kvartærrensing ved avløpsrenseanlegg, kan dette gi et ytterligere behov på om lag 2 000 tonn per år. Bruksegenskaper av avfallsbasertbiokull til slike formål er imidlertid fortsatt på forsøksstadiet, og det vil være behov for videre dokumentasjon og produktutvikling før en slik anvendelse kan tas i bruk i større skala.

Samfunnsøkonomisk vurdering

Tre scenarier er vurdert: scenario 1 (pyrolyse av vannverksslam og avløpsslam), scenario 2 (pyrolyse av en blanding av trevirke, vannverksslam og avløpsslam) og scenario 3 (pyrolyse av trevirke og hage- og parkavfall). Analysen er gjennomført for en analyseperiode på 75 år og bygger på nåverdimetoden. Det er tatt hensyn til dagens inntekter og kostnader, investeringskostnader, fremtidige driftskostnader for pyrolyseanlegget, langsiktig karbonbinding, inntekter fra salg av biokull og inntekter fra karbonkreditter beregnet med utgangspunkt i Finansdepartementets karbonprisbane, med et påslag på 20 prosent for trebasert biokull i det frivillige karbonmarkedet.

Samlet sett peker analysen på at scenario 3 med trebasert biokull fremstår som det beste alternativet, gitt de forutsetningene som er lagt til grunn. Samtidig kan den samfunnsøkonomiske nytten av scenariene med slambiomasse øke dersom det utvikles egnede anvendelser og et marked for denne typen biokull. Dette kan blant annet oppnås gjennom et marked for karbonkreditter og økt bruk av biokull i renseløsninger for avløpsvann og overvann, samt forbedret vannhusholdning, herunder fordrøyning i grøntanlegg. I tillegg kan disse scenariene bidra til økt sirkularitet ved å redusere behovet for jomfruelige materialer.

Pyrolyseteknologi

Pyrolyseteknologi er i dag kommersielt tilgjengelig fra flere leverandører og har flere kommersielle referanseanlegg for behandling av trebaserte biomasser. For avløpsslam er teknologien mindre utbredt, men det finnes leverandører som har utviklet løsninger spesielt tilpasset dette materialet. Disse løsningene inkluderer normalt tørking som en integrert del av prosessen, fordi avløpsslam har høyt vanninnhold. Mange av de tilgjengelige løsningene er utviklet for avvannet slam. Utrånet slam har normalt et lavere innhold av organisk materiale per mengde tørrstoff enn råslam, noe som kan gi lavere energiinnhold og økt behov for ekstern energitilførsel. Pyrolyseanlegg for slam er ofte integrert i et avløpsrenseanlegg slik at rejeftvannstrømmer kan håndteres og tilgjengelig biogass fra slambehandling kan nyttes som energikilde.

Erfaringene fra fullskalaanlegg viser at teknologien for trebasert materiale er mer kommersielt etablert enn pyrolyse av avløpsslam. Det finnes imidlertid leverandører som har utviklet integrerte løsninger for tørking og pyrolyse av avløpsslam, blant annet i Danmark og Sverige. Dette viser at slambasert pyrolyse er teknisk gjennomførbart, men at erfaringsgrunnlaget fortsatt er mer begrenset enn for trebaserte materialer. Det er ikke kjent at det finnes teknologileverandører som leverer komplette fullskalaanlegg som kombinerer eventuell pelletering og etterbehandling av biokull basert på blandinger av ulike avfallsressurser. De enkelte prosessstrinnene er imidlertid tilgjengelige og kan integreres i en samlet pyrolyseløsning.

Klassifisering og egenskaper ved slambiomasse

Hvis avløpsslam pyrolyseres, med eller uten innblanding av trevirke, vil sluttproduktet fortsatt klassifiseres som slambasert biokull og i hovedsak være underlagt de samme bruksrestriksjonene som avløpsslam. Ved pyrolyse av kun utrånet avløpsslam fra Bekkelaget og vannverksslam er det risiko for at tungmetallkonsentrasjonene, særlig sink, vil overskride grenseverdiene for bruk i landbruk som følge av oppkonsentrasjon i biokullet. Det vil kreves like stort spreddeareal i landbruket for biokull basert på rent

slam sammenlignet med dagens praksis med bruk av avvannet utrånet slam på grunn av likt fosforinnholdet i slambiomullet. Organiske miljøgifter i slam vil imidlertid destrueres i pyrolyseprosessen. Rent slambiomul vil derfor i praksis hovedsakelig kunne benyttes i grøntarealer. Egenskapene til pyrolysert slam er dessuten i mindre grad kartlagt enn for trebasert biokull.

Betydningen av sammensetning av ulike avfallsressurser

Pyrolyse av en blanding av avløpsslam, vannverksslam og trevirke eller hage- og parkavfall kan gi et biokull med lavere tungmetallkonsentrasjoner, slik at grenseverdiene for bruk i landbruk kan overholdes. Dette kan gi flere nedstrøms anvendelsesmuligheter utover Oslo kommunes behov. Avfallstrevirke og hage- og parkavfall vil kreve forbehandling i form av sortering og kverning, men gir til gjengjeld et biokull med høyere karbonlagringspotensial enn utrånet avløpsslam og vannverksslam.

Bruksområder og begrensninger

Det er usikkerhet knyttet til om slambiomul vil ha tilstrekkelige egenskaper til bruk som rensemedium for fremtidige rensekrav (kvartærrensing) eller i overvannshåndtering. Det pågår forsøk for å undersøke om slike produkter kan fungere som rensemedium, men det foreligger foreløpig ikke tilstrekkelige resultater til å trekke sikre konklusjoner. Rent slambiomul vil kunne benyttes i grøntanlegg, men med trevirke kan det sannsynligvis også brukes i landbruket. Slambaserte biokull vil kunne brukes i mindre omfang enn biokull basert på trevirke. For å kunne bruke mer slam enn dagens bruksbegrensninger i jord eller til tekniske formål må dette søkes om særskilt etter forurensningsloven.

Trebasert biokull og markedsmuligheter

Biokull basert på avfallstrevirke og hage- og parkavfall har mer kjente egenskaper og generelt større bruksfleksibilitet. Slike materiale kan gi biokull som kan sertifiseres, og dersom det har tilstrekkelig kvalitet, kan produktet brukes uten vesentlige bruksrestriksjoner. Biokull basert på avfallstrevirke samt hage- og parkavfall har et etablert marked og er dokumentert brukt som jordforbedringsmiddel i grøntanlegg. For spesialiserte tekniske anvendelser utover jordforbedring vil det imidlertid ofte være behov for ytterligere for- og etterbehandling av biokullet.

Energi- og prosessforhold

Avløpsslam må tørkes før pyrolyse. En del av energibehovet kan dekkes av overskuddsenergi fra pyrolyseprosessen, men det vil normalt være behov for tilførsel av ekstern energi. Ved pyrolyse av tørrere materiale, som avfallstrevirke, vil det genereres overskuddsvarme som bør utnyttes. Lokalisering av anlegg i nærheten av varmebehov, som for eksempel fjernvarmeanlegg, vil derfor være viktig for å oppnå god energibalanse. Biokull har stor brennverdi og sikkerhet knyttet til lagring og transport er svært viktig for å unngå uønskede hendelser.

Karbonlagring og sertifisering

Bruk av biokull vil kunne gi karbonlagring, men ulike avfallsressursene har ulikt potensial for dette. Trevirke og hage- og parkavfall har generelt størst potensial for karbonlagring. For slike råstoffer finnes det også etablerte sertifiseringsordninger, og det kan være mulig å generere og omsette karbonkreditter i det frivillige karbonmarkedet. Dette kan også være aktuelt for slambiomul, men her er mulighetene mer begrensede. Den europeiske biokullsertifiseringsordningen (EBC) stiller strengere krav til slambiomul, og bruk som jordforbedringsmiddel er i praksis begrenset, mens anvendelse til tekniske formål er mulig. Puro.earth er en plattform for sertifisering og handel med karbonfjerning, der produsenter kan få utstedt karbonfjerningssertifikater (CORCs – Carbon Removal Certificates) dersom kravene i metodikken oppfylles. For sertifisert karbonfjerning ved bruk av biokull er det krav til blant annet permanent karbonlagring, dokumentasjon og verifisering.

Strategiske vurderinger

Hvis man ønsker å benytte egenprodusert biokull som et klimatiltak for overvannshåndtering og til karbonlagring forutsetter det at Oslo kommune forankrer bruk av biokull både faglig og politisk i egne tjenester og ved anskaffelser. Det anbefales ikke å foreta større investeringer i biokullproduksjon uten at det er dokumentert hvilke bruksområder produktet skal ha, hvilken nytteverdi det gir sammenlignet med eksisterende løsninger og hvordan nyttiggjøre seg av energioverskuddet knyttet til lokalisering av et anlegg. Gitt de forventede volumene i kommunen av ulike avfallsressurser vurderes det som lite sannsynlig

at Oslo kommune selv vil kunne nyttiggjøre hele produksjonen av slambasert biokull eller biokull basert på trevirke ut fra dagens behov. Det anbefales samarbeid med flere kommuner eller private aktører for å bygge et marked knyttet til bruk av biokull hvis det skal produseres mer enn det som Oslo kommune selv trenger.

Et visuelt sammendrag av konklusjon og anbefaling er vist i Figur 21

9.1 Anbefaling

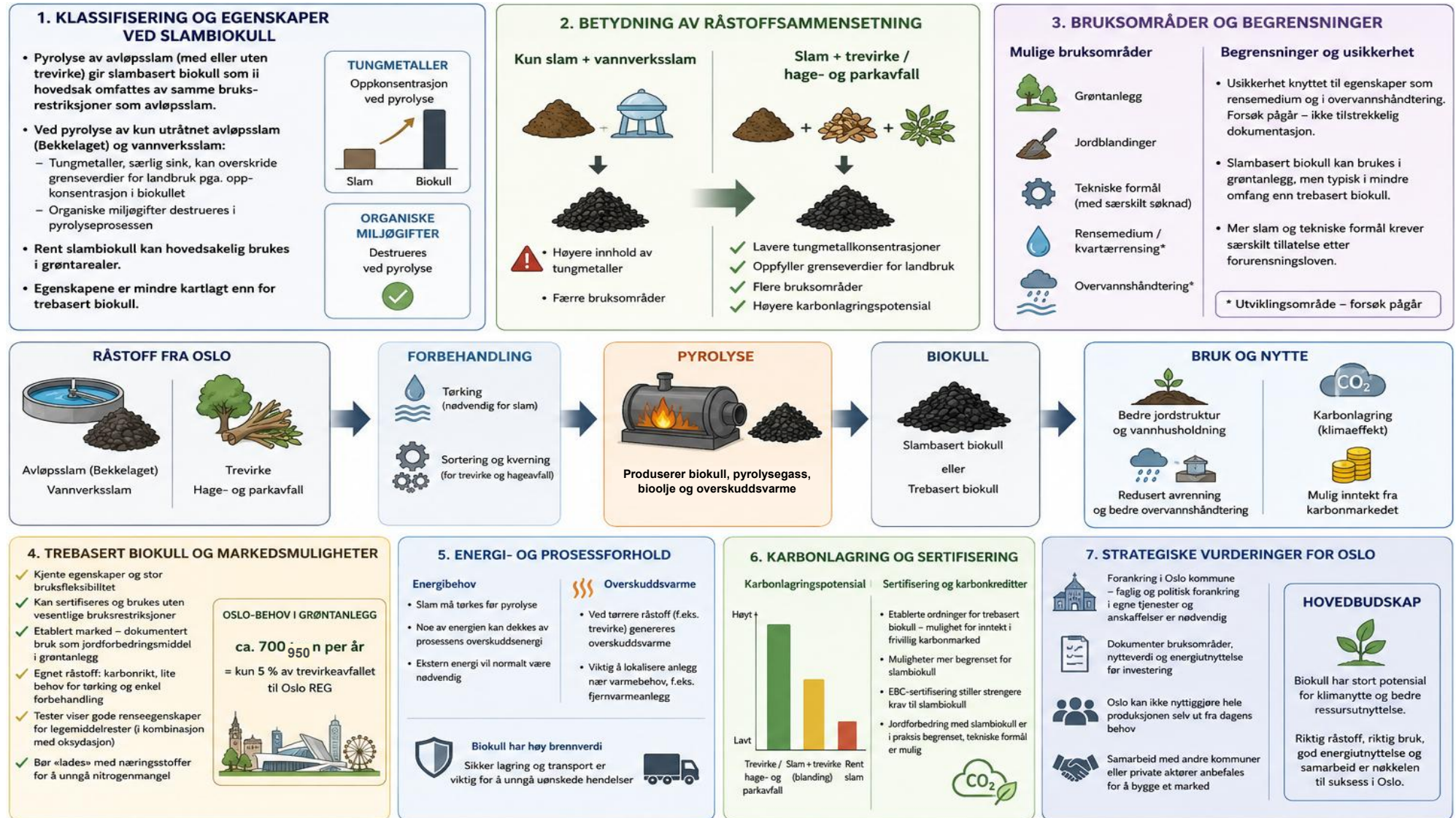
Oslo kommune bør ikke investere i større produksjonsanlegg før det er dokumentert hvilke bruksområder biokullet vil få, hvordan energioverskudd kan utnyttes og om det finnes tilstrekkelig etterspørsel etter produktet.

Det anbefales å etablere et mindre biokullanlegg for avfallstrevirke, det vil gi mest karbonlagring, enklere produksjon og gir gode mulighet for sertifisering og salg av CO₂ sertifikater. Kullet kan blandes inn i Oslokompost som kunne oppnå sertifisert karbonbinding og flere bruksområder i Oslo. Anlegget bør plasseres slik at overskuddsvarme kan utnyttes. Oslo kommune bør samtidig forankre bruk av biokull i egen drift og anskaffelser, samt samarbeide med andre kommuner og private aktører for å utvikle stabile markeder for sikre god utnyttelse av avfallsressursene.

Et mulig tilleggsalternativ er å etablere et anlegg for slamtørking for å utnytte overskuddsenergi fra pyrolyseprosessen fra trevirke. Det vil gi vesentlig reduserte lagrings- og transportkostnader for slam til bruk i landbruket eller til produksjon av anleggsjord.

Oslo kommune bør gjennomføre videre utredning av biokullproduksjon basert på en kombinasjon av utråtnet avløpsslam, vannverksslam og avfallstrevirke eller hage- og parkavfall, fremfor pyrolyse av rent slam. Kombinasjon vil gi:

- et slambiokull med flere bruksmuligheter
- høyere karbonlagringspotensial
- bedre forutsetninger for å etablere et marked for produktet



Figur 21 Et sammendrag av konklusjon og anbefaling

10 Referanseliste

Referanseliste

Agar, D.A., Kwapinska, M. og Leahy, J.J. **(2018)**: Pyrolysis of wastewater sludge and composted organic fines from municipal solid waste: laboratory reactor characterisation and product distribution. *Environ Sci Pollut Res* 25, 35874–35882, <https://doi.org/10.1007/s11356-018-1463-y>

AquaGreen **(2021)** Power Point presentasjon 30 juni

Bahr B. v. **(2016)**: Miljösystemanalys av Ekobalans process för pyrolys av slam: SP Sveriges Tekniska Forskningsinstitut. <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1074804/FULLTEXT01.pdf>

Baresel C., Karlsson L., Malovanyy A., Thorsén G., Goicoechea Feldtmann M., Holmquist H., Dalahmeh S., Ahrens L. och Winkens Pütz K. **(2022)**: PFAS – hur kan svenska avloppsreningsverk möta utmaningen? SVU-rapport 2022–7. Stockholm: Svenskt Vatten

Bezabeh M.B., Eich-Greatorex, S, Krogstad, T. **(2025)**: Characterization of biochar from manure and sewage sludge using XRD and FTIR. European Geosciences Union General Assembly 2025 (EGU25), 27 April-2 May, 2025, Vienna, Austria. id. EGU25-20231.
https://ui.adsabs.harvard.edu/link_gateway/2025EGUGA..2720231W/doi:10.5194/egusphere-egu25-20231

Bilias F., Kalderis D., Richardson C., Barbayiannis N. og Gasparatos D. **(2023)**: Biochar application as a soil potassium management strategy: A review: *Science of the Total Environment*, 858(Pt 1):159782.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.159782>

Bundesumweltamt (*Det tyske miljødirektoratet*) **(2019)**: Arzneimittelrückstände in Rezyklen der Phosphorrückgewinnung aus Klärschlämmen (Legemiddelrester i resirkulerte materialer fra gjenvinning av fosfor fra avløpsslam. Sluttrapport)
https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1410/publikationen/2019-03-29_texte_31-2019_arzneimittelrueckstaende-klaerschlamm_v2.pdf

Callegari, A. og Capodaglio, A.G. **(2018)**: Properties and Beneficial Uses of (Bio)Chars, with Special Attention to Products from Sewage sludge pyrolysis. <https://doi.org/10.3390/resources7010020>

Callegari, A., Hlavinek, P. og Capodaglio, A. G. **(2018)**: Production of energy (biodiesel) and recovery of materials (biochar), *Ambiente & Agua - An interdisciplinary Journal of Applied Science*, 14p.
<https://doi.org/10.4136/ambi-agua.2128>

Cao, Y. og Pawlowski, A. **(2012)**: Sewage sludge-to-energy approaches based on anaerobic digestion and pyrolysis: Brief overview and energy efficiency assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* vol.16 pages: 1657 – 1665. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.12.014>

Chiari D., Bier H., Wieth C., Gerber H., Nilsen P., Kasian N., Helaine D., Lebonnois D., Andersson D., Gunnerud L. og Meitner D. **(2024)**: Sewage Sludge as feedstock for pyrolysis to be included in the scope of the EU Fertilizing Products Regulation. Position Paper of the European Biochar Industry (EBI) Consortium.
https://cdn.prod.websitefiles.com/66d0896fda2fb8a0d53224d6/67594507cea4c4df00265a8b_2024_EBI_Sewage_Sludge_Position_Paper.pdf

Djandja, O. S., Wang, Z. C., Wang, F., Xu, Y. P. og Duan, P. G. **(2020)**: Pyrolysis of municipal sewage sludge for biofuel production: A review. *Industrial and Engineering Chemistry Research*, 59(39), 16939–16956. <https://doi.org/10.1021/acs.iecr.0c01546>

Draper, K. **(2016)**: *Wastewater treatment and biochar*, the Biochar Journal 2016, Arbaz, Switzerland. ISSN 2297-1114, www.biochar-journal.org/en/ct/81, Version of 19th August 2016. Hentet fra nettside: 05.05.2026

EBC **(2022)**, European Biochar Certificate - Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. Standards International - CSI, 2025 Versjon 10.5E from 14th august, <https://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>

-
- EBC (2025): Positive list of permissible biomasses for the production of biochar. Hentet 15. januar 2026, <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000095EN.pdf?t=87734>
-
- Estevez, M.M., Eich-Greatorex, S., Tomczak-Wandzel, R., Lin, L. og Bezabeh, M. B. (2024): Effects of anaerobic digestion in the biochar production from organic waste fractions. Conference proceedings of the International Water Association (IWA) 18th conference on Anaerobic Digestion, Istanbul, Turkey.
-
- Estevez, M.M., Tomczak-Wandzel, R., Lin, L., Tao, R., Eich-Greatorex, S., Skogerbø, G., Akervold, K., Fugledal, L.M. (2023): Sewage sludge from different wastewater treatment processes as a feedstock for biochar production. Conference proceedings of NORDIWA 2023, Göteborg, Sweden.
-
- EU commission (2024): Updates to the Urban Wastewater Treatment Directive. <https://www.consilium.europa.eu/en/press/press-releases/2024/11/05/urban-wastewater-council-adopts-new-rules-for-more-efficient-treatment/>
-
- Fagforbundet (3. juni 2026): Blomsterjord for bedre klima. Tilgjengelig fra: <https://www.fagforbundet.no/a/383712/fagforeninger/oslo/aktuelt/blomsterjord-for-bedre-klima/> (hentet 20.april 2026.)
-
- Figueiredo, C.C.d., Reis, A.d.S.P.J. Aruajo, A.S.d., Blum, L.E.B., Shah, K., og Jorge Paz-Ferreiro, J. (2021): Assessing the potential of sewage sludge-derived biochar as a novel phosphorus fertilizer: Influence of extractant solutions and pyrolysis temperatures. Waste Management Volume 124, 1 April 2021, Pages 144-153 <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2021.01.044>
-
- Finansdepartementet. (2024). Karbonprisbaner for bruk i samfunnsøkonomiske analyser i 2025. Regjeringen.no. <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/samfunnsokonomiske-analyser/karbonprisbaner-for-bruk-i-samfunnsokonomiske-analyser-i-2025/id3080821/>
-
- Glaser, B., Lehr, V. (2019): Biochar effects on phosphorus availability in agricultural soils: A meta-analysis. Sci Rep 9, 9338. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-45693-z>
-
- Glæsner, N., Hansen, H.K.B., Hu, Y., Bekiaris, G. og Sander Bruun, S. (2019): Low crystalline apatite in bone char produced at low temperature ameliorates phosphorus-deficient soils, Chemosphere, Volume 223, 2019, Pages 723-730. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.02.048>
-
- Gustafsson, M., Ek, L., Hellmann J., Henriksson, A. och Lazic, A., (2025): Slambiol – marknadspotential, kolkrediter och affärsmodell. Förstudie för svenska VA-organisationer. SVU-rapport 2025-7. Stockholm: Svenskt Vatten.
-
- Henninge, L. B., og Blytt, L.D. (2023): Organiske miljøgifter i norsk avløpsslam – Resultater fra undersøkelsen i 2022/2023. Norsk Vann rapport 283/2023, Norsk Vann BA, Hamar. https://norsk vann.no/wp-content/uploads/2025/09/Rapport283_2023_Organiske_miljogifter_i_norsk_avlopsslam-Resultater_fra_undersokelsen_i_2022_2023.pdf
-
- Hlavsová, A., Corsaro, A., Raclavská, H., Juchelková, D., Škrobánková, H., Frydrych, J. (2014): Syngas Production from Pyrolysis of Nine Composts Obtained from Nonhybrid and Hybrid Perennial Grasses, The Scientific World Journal, 2014, 723092, 11 pages, 2014. <https://doi.org/10.1155/2014/723092>
-
- Hoffmann T.C. (2015): Pyrolysis for Estrogens Removal from Wastewater Solids. Master's Thesis, Marquette University – USA https://epublications.marquette.edu/theses_open/294/
-
- Hoffmann, T.C. Zitomer, D.H. og McNamara, P.J. (2016): Pyrolysis of wastewater biosolids significantly reduces estrogenicity, Journal of Hazardous Materials, Volume 317 pages 579-584 <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.05.088>
-
- Hofstad, K. (2025): biofyringsolje i Store norske leksikon på snl.no. Hentet 6. mai 2026 fra <https://snl.no/biofyringsolje>
-
- Hossain M.K., Strezov, V., Chan, K.Y., Ziokowski, A. og Nelson, P.F. (2011): Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar. Journal of Environmental Management, Volume 92, Issue 1. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2010.09.008>
-
- Jin, J., Li, Y., Zhang, J., Wu, S., Cao, Y., Liang, P., Zhang, J. Wong, M.H., Wang, M., Shan, S. og Peter Christie, P. (2016): Influence of pyrolysis temperature on properties and environmental safety of heavy
-

metals in biochars derived from municipal sewage sludge, *Journal of Hazardous Materials*, Volume 320, Pages 417-426, <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2016.08.050>

Joner, E. **(2022, 30. juli)**: Biokull kan ha god effekt på intensive grønne tak. NIBIO. Hentet 23. mars 2026 fra <https://www.nibio.no/nyheter/biokull-kan-ha-god-effekt-pa-intensive-gronne-tak>

Kabir, M.J., Chowdhury, A.A. og Rasul, M.G. **(2015)**: Pyrolysis of Municipal Green Waste: A Modelling, Simulation and Experimental Analysis. *Energies* 2015, 8, 7522-7541. <https://doi.org/10.3390/en8087522>

Keller A.A., Li W., Floyd Y., Bae J., Clemens K.M., Thomas E., Han Z. og Adeleye A.S. **(2024)**: Elimination of microplastics, PFAS, and PPCPs from biosolids via pyrolysis to produce biochar: Feasibility and techno-economic analysis, *Science of The Total Environment*, 947, 2024, 174773. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.174773>

Kundu S., Patel, S., Halder, P., Patel, T., Marzabali, M.H., Pramanik, B.K., Paz-Ferreiro, J. og Figueiredo, C.C.d., Bergmann, D., Surapaneni, A., Megharaj, M. og Shah, K. **(2021)**: Removal of PFASs from biosolids using a semi-pilot scale pyrolysis reactor and the application of biosolids derived biochar for the removal of PFASs from contaminated water. *Environ. Sci.: Water Res. Technol.*, 2021, 7, 638-649. <https://doi.org/10.1039/D0EW00763C>

Liu J., Lin L., Wang K., Ding R., Xie Z. og Zhang P. **(2022)**: Concentrations and Species of Mercury in Municipal Sludge of Selected Chinese Cities and Potential Mercury Emissions from Sludge Treatment and Disposal. *Front. Environ. Sci.* 10:895075. <https://doi.org/10.3389/fenvs.2022.895075>

Liu, T., Liu B. og Zhang, W. **(2014)**: Nutrients and Heavy Metals in Biochar Produced by Sewage Sludge Pyrolysis: Its Application in Soil Amendment. *Journal of Hazardous Materials Vol. 320*, pages: 417-426

Liu, T., Liu, B. og Zhang, W. **(2014)**: Nutrients and heavy metals in biochar produced by sewage sludge pyrolysis: Its application in soil amendment. *Polish Journal of Environmental Studies*, 23(1), 271–275. <https://www.pjoes.com/pdf-89192-23051?filename=23051.pdf>

Lovdata **(2025a)**: Forskrift om lagring og bruk av gjødsel mv. (FOR-2025-01-29-115). Hentet 14. januar 2026 Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2025-01-29-115>

Lovdata **(2025b)**: Forskrift om produksjon, omsetning og import av gjødselvarer av organisk opphav og visse uorganiske gjødselvarer (FOR-2025-01-29-116, gjødselvareforskriften). Lovdata. Hentet 14. januar 2026 <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2025-01-29-116>

Mašek O., Buss W., Brownsort P., Rovere M., Tagliaferro A., Zhao L., Cao X. og Xu G. **(2019)**: Potassium doping increases biochar carbon sequestration potential by 45%, facilitating decoupling of carbon sequestration from soil improvement. *Scientific Reports* 9, 5514. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-41953-0>

Méndez, A., Gómez, A. J., Paz-Ferreiro, A.J. og Gascó G. **(2012)**: Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil. *Chemosphere Vol 89*, pages: 1354-1359 <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2012.05.092>

Miljødirektoratet **(2020)**: Produksjon av biokull, Sluttrapport. <https://www.miljodirektoratet.no/ansvarsomrader/klima/for-myndigheter/kutte-utslipp-av-klimagasser/klimasats/2020/produksjon-av-biokull>

Miljøstyrelsen DK **(2023)**: Analyse af fremtidig slamhåndtering-Til gavn for miljø og klima. Miljøprojekt nr. 2230

Moško, J., Pohořelý, M., Cajthaml, T., Jeremiáš, M., Robles-Aguilar, A. A., Skoblia, S., Beňo, Z., Innemanová, P., Linhartová, L., Michalíková, K. og Meers, E. **(2021)**: Effect of pyrolysis temperature on removal of organic pollutants present in anaerobically stabilized sewage sludge. *Chemosphere*, 265, 129082. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.129082>

Negaa, T., Awokea, K., Bicksa, A.T., Mengstiea, E. G. Meleseb, G.T., Admasuc, A.S., Sisayd A. **(2023)**: Conversion of cud and paper waste to biochar using slow pyrolysis process and effects of parameters. *Heliyon Volume 9, Issue 6e16864 June 2023*, <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1410450/v1>

-
- Ni B-J., Zhu Z-R., Li W-H., Yan X., Wei W., Xu., Q., Xia Z., Dai, X. og Sun J. **(2020)**: Microplastics Mitigation in Sewage Sludge through Pyrolysis: The Role of Pyrolysis Temperature, Environmental Science & Technology Letters Vol 7, Issue 12. <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.estlett.0c00740>
-
- Padhye L.P. et al **2026**. The PFAS roadmap–Navigating a path together to improved management. Sustain; Sørmø, E., Cornelissen, G., Arp, H.P.H.; Chapter 10: Pyrolysis and biochar for PFAS management. Sustain. Sci. Technol. 3 012501. <https://doi.org/10.1088/2977-3504/ae286f>
-
- Paulsson M. **(2020)**: Sammanfattande slutt rapport for projektet Rest till Bäst (steg 2): Rest till Bäst. [Sammanfattande slutt rapport for projektet Rest till Bäst \(steg 2\) - Rest till Bäst](#)
-
- Paz-Ferreiro, J., Nieto, A., Méndez, A., Askeland, M.P.J. og Gascó G. **(2018)**: Biochar from Biosolids Pyrolysis: A Review, Int. J. Environ. Res. Public Health 15(5):956. <https://doi.org/10.3390/ijerph15050956>
-
- Pyreg **(2023)**: Pyrolysis not only eliminates PFAS from sewage sludge, the biochar also absorbs PFAS in contaminated soils. <https://pyreg.com/pyrolysis-not-only-eliminates-pfas-from-sewage-sludge-but-also-absorbs-existent-pfas/> [2026-03-11]
-
- Qiu K., Zhang L., Xie S., Zheng, M., Wang Z., Wang Z. **(2024)**: Elimination of microplastic from soil by pyrolysis and potential hazard analysis: Effects of pyrolysis temperature and holding time. Soil Science Society of America Journal, 88, 2066–2077. <https://doi.org/10.1002/saj2.20770>
-
- RenCARbio, **(2023)**: Technical report: WP4: Pyrolysis pilot-trials and biochar production; small-scale pyrolysis studies. Lin, L.; Tao, R. (WAIES AS).
-
- Ross, J.J., Zitomer., D., Miller, T.R., Weirich, C.A. og McNamara, P.J. **(2016)**: Emerging investigators series: Pyrolysis removes common microconstituents triclocarban, triclosan and nonylphenol from biosolids. Environmental Science: Water Research & Technology, No. 2 (2016): 282-289, <http://dx.doi.org/10.1039/C5EW00229J>
-
- Saffari, M. Moazallahi, M. og Mashayekhi, R. **(2025)**: The fate and mobility of chromium, arsenic and zinc in municipal sewage sludge during the co-pyrolysis process with organic and inorganic chlorides. Nature Report Issue : 2986 pages 1-19.
-
- Sandes kommune **(2025)**: Nytt biokullanlegg på Hogstad. Nettside hentet 4.februar 2026, [Sandnes kommune - Biokullanlegg på Hogstad](#)
-
- Schleederer F., Martín-Hernández E. og Vaneekhaute C. **(2024)**: Ensuring safety standards in sewage sludge-derived biochar: Impact of pyrolysis process temperature and carrier gas on micropollutant removal. Journal of Environmental Management, 14, 352:119964. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119964>
-
- Schleederer, F., Martín, E. og Vaneekhaute, C. **(2024)**: Ensuring safety standards in sewage sludge-derived biochar: Impact of pyrolysis process temperature and carrier gas on micropollutant removal. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2023.119964>
-
- SINTEF **(2017)**: Utvikning og implementering av biokull som klimatiltak i Norge. Prosjekt notat fra Capture+, Forfattet av Thomassen, M.K., O'Tool A., Joner, E., Tchentscher, R., Otte, P., Vik, J., Horn, S. og Halvorsen, T. [Microsoft Word - Capture Prosjektnotat 31 aug. - final 7 sept.docx](#)
-
- STOWA **(2025)**: Evaluation innovation program removal og micropollutants at wastewater treatment plants. STOWA 2025-43, fra ministry of infrastructure and water management. ISBN, 978.94.6479.127.3, <https://edepot.wur.nl/705101>
-
- Sørmø, E., Castro, G., Hubert, M., Licul-Kucera, V., Quintanilla, M., Asimakopoulos, A. G., Cornelissen, G. og Arp, H.P.H., **(2023)**: The decomposition and emission factors of a wide range of PFAS in diverse, contaminated organic waste fractions undergoing dry pyrolysis. Journal of Hazardous Materials, Volume 454, 131447.
-
- Sørmø, E., Krahn K.M., Flatabø G.Ø., Hartnik T., Arp H.P.H. & Cornelissen G., **(2024a)**: Distribution of PAHs, PCBs, and PCDD/Fs in products from full-scale relevant pyrolysis of diverse contaminated organic waste. J Hazard Mater. 2024 Jan 5; 461:132546. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2023.131447>

-
- Sørmo, E.; Dublet-Adli, G., Menlah, G.; Flatabø, G.Ø., Zivanovic, V., Carlsson, P., Almås, Å. og Cornelissen, G. **(2024b)**: Heavy Metals in Pyrolysis of Contaminated Wastes: Phase Distribution and Leaching Behaviour. *Environments* 2024, 11, 130. <https://doi.org/10.3390/environments11060130>
-
- Tan C., Yaxin, Z., Hongtao, W., Wenjing, L., Zeyu, Z., Yuancheng, Z. og Lulu, R. **(2014)**: Influence of pyrolysis temperature on characteristics and heavy metal adsorptive performance of biochar derived from municipal sewage sludge. *Bioresource Technology* Volume 164, July 2014, Pages 47-54
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.04.048>
-
- Tay J., Ghen X., Jeyaseelan S. og Graham N. **(2001)**: A comparative study of anaerobically digested and undigested sewage sludges in preparation of activated carbons. *Chemosphere*, 44, 1, 53-57.
[https://doi.org/10.1016/S0045-6535\(00\)00384-2](https://doi.org/10.1016/S0045-6535(00)00384-2)
-
- Thoma E.D., Wright R.S., George I., Krause M., Presezzi D., Villa V., Preston W., Deshmukh P., Kauppi P. og Zemek P.G. **(2022)**: Pyrolysis processing of PFAS-impacted biosolids, a pilot study. *J Air Waste Manag Assoc.* 72 (4), 309-318. <https://doi.org/10.1080/10962247.2021.2009935>
-
- Tian, Y., Cui, L., Lin, Q. og Zhao, X. **(2019)**: The Sewage Sludge Biochar at Low Pyrolysis Had Better Improvement in Urban Soil and Turf Grass, *Agronomy* 2019, 9(3), 156
<https://doi.org/10.3390/agronomy9030156>
-
- Tomczyk A., Sokołowska Z. og Boguta P. **(2020)**: Biochar physicochemical properties: pyrolysis temperature and feedstock kind effects. *Reviews in Environmental Science and Bio-Technology*.
<https://doi.org/10.1007/s11157-020-09523-3>
-
- Trabelsi, B.G., Ghrib, A., Zaafour, K., Friaa, A., Ouerghi A. Naoui, Slim, og N. Belayouni H. **(2017)**: Hydrogen-Rich Syngas Production from Gasification and Pyrolysis of Solar Dried Sewage Sludge: Experimental and Modeling Investigations, *BioMed Research International*, 2017, 7831470, 14 pages, 2017. <https://doi.org/10.1155/2017/7831470>
-
- USEPA **(2020)**: Potential PFAS Destruction technology. Pyrolysis and Gasification.
https://www.epa.gov/sites/default/files/2021-01/documents/pitt_research_brief_pyrolysis_final_jan_27_2021_508.pdf
-
- Wallace, J. S., Edirisinghe, D., Seyedi, S., Noteboom, H., Blate, M., Balci, D. D., Abu-Orf, M., Sharp, R., Brown, J. og Aga, D.S. **(2023)**: Burning questions: Current practices and critical gaps in evaluating removal of per- and polyfluoroalkyl substances (PFAS) during pyrolysis treatments of biosolids. *Journal of Hazardous Materials Letters*, vol 4, pages 1-7, <https://doi.org/10.1016/j.hazl.2023.100079>
-
- Wang D., Jilang. P. Zhang, H. og Yuan, W. **(2020)**: Biochar production and applications in agro and forestry systems: A review *Science of The Total Environment*, Volume 723, 25 June 2020, 137775.
<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.137775>
-
- Wang X. Chunxing, L., Zhang, B., Lin, Jingjiang, Chi, Quiaqiao og Wang, Y. **(2016)**: Migration and risk assessment of heavy metals in sewage sludge during hydrothermal treatment combined with pyrolysis, *Bioresource Technology*, Volume 221, December 2016, Pages 560-567,
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2016.09.069>
-
- Xing J., Xu G. og Li G. **(2021)**: Comparison of pyrolysis process, various fractions and potential soil applications between sewage sludge-based biochars and lignocellulose-based biochars: *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 208, 111756. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2020.111756>
-
- Zhang J., Lü F., Zhang H., Shao L., Chen D. og He P. **(2015)**: Multiscale visualization of the structural and characteristic changes of sewage sludge biochar oriented towards potential agronomic and environmental implication: *Scientific reports* 5, 9406. <https://doi.org/10.1038/srep09406>
-
- Zielinska, A. og Oleszczuk, P. **(2015)**: Evaluation of sewage sludge and slow pyrolyzed sewage sludge-derived biochar, *Bioresource Technology* Vol 192 pages 618-626.
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.06.032>

Vedlegg I Råvarer EBC-biokull

Denne listen er en oversatt og noe forenklet. For detaljer bør man gå inn den originale tabellen¹ Til EBC (European Biochar Certificate). De linjene som er markert i grønt er avfallsressurser som Oslo kommune produserer og håndterer I dag.

Kategori	Biomasse / råstoff	ID	Feed / Feed+	AgroOrganic	Agro	Urban	Materials	Basic	Særlige krav og merknader
Landbruk	Ettårige energivekster (mais, raps, sukkerbete m.fl.)	Ag-01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<i>AgroOrganic</i> : kun økologisk. Gjødelsebruk må deklarerer for karbonlagring
	Flerårige energivekster	Ag-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Samme krav som Ag-01
	Kortrotasjons-trevirke (SRC)	Ag-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	<i>AgroOrganic</i> : kun økologisk
	Beskjæring av trær/busker	Ag-04	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	Oppmerksom på tungmetaller og plantevernmidler
	Høsterester (halm, stilk, skall mm.)	Ag-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Oppmerksom på tungmetaller og plantevernmidler
	Grønnsaker	Ag-06	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kan ikke være råvarer som kan brukes som mat eller fôr
	Grønnsaksavfall	Ag-07		✓	✓	✓	✓	✓	Ikke rester som kan brukes til fôr
	Frø	Ag-07		✓	✓	✓	✓	✓	Bare utgatte frø. <i>AgroOrganic</i> : bare økologisk frø
Skogbruk	Bark (ubehandlet)	F-01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kun sertifisert skogbruk
	Flis fra rent trevirke	F-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kun sertifisert skogbruk.
	Tre og treavfall	F-03	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kun sertifisert skogbruk, <i>Feed</i> : fra dokumenterte kilder og ikke fra kommunal innsamling
	Sagflis	F-04	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kun sertifisert skogbruk
Landskaps-pleie	Løv	S-01	✓	✓	✓	✓	✓	–	Ikke fra veioppsop
	Rotstokker	S-03	✓	✓	✓	✓	✓	–	Jord ≤ 10 % av TS
	Biomasse fra naturpleie	S-04	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	<i>Feed</i> : Ikke kommunal innsamling
Avfalls-gjenvinning	Urbant grøntavfall	R-01		✓	✓	✓	✓	✓	Ingen matavfall eller biomasse fra prosesser
	Avfallspapir	R-02			(✓)	(✓)	✓	✓	<i>Agro and Urban</i> : fra definerte kilder uten syntetisk belegg, lakk og plast med maks 1% <i>Materials og Basic</i> : <10 % men trenger godkjenning over 1%
	Ubehandlet treavfall (A1 ²)	R-03		✓	✓	✓	✓	✓	
	Behandlet treavfall uten PVC, tungmetall eller impregnering (A2)	R-04			(✓)	(✓)	✓	✓	Begrensninger på lim/belegg
	Behandlet treavfall med PVC, tungmetall, men uten impregnering (A3)	R-05				(✓)	(✓)	✓	Må vurderes individuelt

¹ <https://www.carbon-standards.com/docs/transfer/4000095EN.pdf?t=87734>

² Treavfall kategoriene A1, A2 og A3 og A4 er knyttet til tysk standard for treavfall

Kategori	Biomasse / råstoff	ID	Feed / Feed+	AgroOrganic	Agro	Urban	Materials	Basic	Særlige krav og merknader
	Impregnert treavfall (A4)	R-06				(✓)	(✓)	✓	Må vurderes individuelt
	Rester fra industri biomasse prosessering	R-07		(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	Må vurderes individuelt
	Papirfiberslam	R-09	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Fra kjemisk ubehandlet trefiber
	Kommunalt organisk avfall	R-10					(✓)	(✓)	Mindre enn 10% plast, Pyrolyse ≥ 500 °C, individuell godkjenning
Matindustri	Material fra vaskeprosesser	N-01	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kun vegetabilsk, jord/sand < 10% av TS
	Pressrester, mask, skall	N-02	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Kun vegetabilsk
	Utgåtte matvarer	N-03		✓	✓	✓	✓	✓	Kun vegetabilsk, Plast >1 % men for <i>Materials</i> og <i>Basic</i> <10%
	Rester fra konserverindustri	N-04		✓	✓	✓	✓	✓	Rene vegetabilske rester
	Rester av krydder	N-05	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Rester fra stivelsesproduksjon	N-06	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Rester fra spritproduksjon	N-07		✓	✓	✓	✓	✓	
	Rester fra brygging av øl	N-08		✓	✓	✓	✓	✓	
	Kjerner og rester fra vinproduksjon	N-09		✓	✓	✓	✓	✓	
	Tobakkrester, støv, slam	N-010		✓	✓	✓	✓	✓	
	Kaffe grut, brukte teblader	N-11		✓	✓	✓	✓	✓	
	Frukt	N-12	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Melasserester	N-13	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Oljefrørester	N-14	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Soppsubstrat	N-15		✓	✓	✓	✓	✓	Karbon fra torv skal ikke inkluderes ved sertifisering karbonlagring
	Rester fra produksjon av kaffe og kakao	N-16	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
Kjøkken og kantine avfall	Kjøkken, kantiner og restaurant matavfall	K-01			✓	✓	✓	✓	Plast >1 %, men for <i>Materials</i> og <i>Basic</i> <10%
Vann-miljø fersk-vann/sjø	Flytemateriale	W-01		✓	✓	✓	✓	✓	Plast >1 %, men for <i>Materials</i> og <i>Basic</i> <10%
	Alger og vannplanter	W-02	(✓)	✓	✓	✓	✓	✓	Feed: Krever kontrollert opprinnelse
Tekstil	Cellulose, bomull og plantefiber	T-01		✓	✓	✓	✓	✓	Syntetisk fiber>1 % men for <i>Materials</i> og <i>Basic</i> <10%, egen godkjenning for <i>AgroOrganic</i>
	Fiber som hamp, sisal mm	T-02		✓	✓	✓	✓	✓	
Biorest	Plantebasert biorest	AD-01		(✓)	✓	✓	✓	✓	<i>AgroOrganic</i> : Kun godkjente biomasser
	Husdyrgjødselbasert biorest	AD-02			✓	✓	✓	✓	Må være i henhold til prosesskrav i animaliebioproduktforskriften

Kategori	Biomasse / råstoff	ID	Feed / Feed+	AgroOrganic	Agro	Urban	Materials	Basic	Særlige krav og merknader
	Animalske biprodukter biorest	AD-03			✓	✓	✓	✓	H/C _{org} forhold < 0.4. Må være i henhold til prosesskrav i animaliebiproduktforskriften
	Biorest fra sekundær plantebiomasse	AD-04		✓	✓	✓	✓	✓	Plast >1 % men for <i>Materials</i> og <i>Basic</i> <10%, ikke avløpsslam
Avløp	Kommunalt avløpsslam	WW-01						✓	H/C _{org} < 0,4
	Slam fra annet avløpssvann	WW-02						(✓)	Individuell godkjenning
Animalske biprodukter	Bein	AB-01			✓	✓	✓	✓	H/C _{org} < 0,4. Må være i henhold til prosesskrav i animaliebiproduktforskriften
	Gjødsel	AB-02			✓	✓	✓	✓	H/C _{org} < 0,4. Må være i henhold til prosesskrav i animaliebiproduktforskriften
	Andre animalske biprodukter	AB-03			(✓)	(✓)	(✓)	(✓)	H/C _{org} < 0,4. Må være i henhold til prosesskrav i animaliebiproduktforskriften
Tilsetninger	Kalk	Z-01		✓	✓	✓	✓	✓	
	Bentonitt	Z-02		✓	✓	✓	✓	✓	
	Steinmel	Z-03		✓	✓	✓	✓	✓	
	Leire	Z-04		✓	✓	✓	✓	✓	Argile på fransk
	Leire	Z-05		✓	✓	✓	✓	✓	Clay på engelsk
	Jord	Z-06		✓	✓	✓	✓	✓	
	Tre/planteaske	Z-07		✓	✓	✓	✓	✓	
	Biogen olje	Z-08	✓	✓	✓	✓	✓	✓	
	Sertifisert biokull	Z-09	✓	✓	✓	✓	✓	✓	Må være EBC-sertifisert
	Biokull fra egen produksjon	Z-10	(✓)	(✓)	(✓)	✓	✓	✓	Mindre batcher som pyrolyseres igjen

Vedlegg II Grenseverdier for sertifisert biokull

I henhold til Guideline for produksjon av europeisk sertifisert biokull er det utarbeidet grenseverdier for miljøgifter (EBC, 2025b). Grenseverdier for sertifisert biokull i henhold til EBC standard er gitt i Tabell 0-1. Det er også utarbeidet grenseverdier for sertifisert biokull i henhold til EBC standard med et tillegg for Danmark, se Tabell 0-2. De danske grenseverdier for sertifisert biokull kan inkludere avløpsslam som råvare. Selv om det er mulig å sertifisere biokull med slam er dette likevel ikke regulert i dansk regelverk som biokull og bruksbegrensninger av slambokull må følger regler for avløpsslam. Maksimal tilførselsmengde i Danmark for biokull i er 0,7 tonn tørrstoff per dekar per år, beregnet som et 10-årig gjennomsnitt i landbruket, og 1,5 tonn per år i parker, skog og områder hvor det ikke dyrkes vekster til direkte konsum.

Tabell 0-1 Grenseverdier for sertifisert biokull etter EBC standarden for ulike bruksområder.

EBC – sertifiserte klasser		Feed / Feed+	AgroOrganic	Agro	Urban	Materials	Basic
Elementanalyse	Deklarering av C-tot, C-org, H, N, O, S og aske						
Fysiske parametere	Vanninnhold, tørrstoff (som mottatt og ved < 3 mm partikkelstørrelse), bulk tetthet (TS), vannholdingsevne (WHC), pH, saltinnhold, elektrisk ledningsevne til det faste biokullet						
Enhet	mg / kg TS						
Tungmetaller	Pb	5 (88% TS)	45	120	120	120	Ingen grenseverdi for sertifisering
	Cd	0,5 (88 % TS)	07	1,5	1,5	1,5	
	Cu	70	70	100	100	100	
	Ni	25	25	50	50	50	
	Hg	0,1 (88 % TS)	25	50	50	50	
	Zn	200	200	400	400	400	
	Cr	70	70	90	90	90	
	As	2 (88 % TS)	13	13	13	13	
Organiske miljøgifter	PAH ₁₆	6 ± 2,4	6 ± 2,4	6 ± 2,4	CSI deklarasjon		
	PAH ₈			1			4
	benzo[e]pyren benzo[j]fluoranten	< 1 for hver av stoffene					
	PCB, PCDD/F	Kun nødvendig dersom summen av PAH ₈ overstiger 1,0 mg/kg. For PCB er grenseverdien 0,2 mg/kg TS, og for PCDD/F 20 ng/kg (I-TEQ OMS)					

Tabell 0-2 Grenseverdier for sertifisert biokull i Danmark

Biokull som kan brukes i landbruk		Råstoff for produksjon av biokull til landbruk		
	mg/ kg TS	mg/kg P	mg/ kg TS	mg/kg P
Pb	60		120	
Eller Pb		5 000		10 000
Cd	0,8		0,8	
Eller Cd		100		100
Cu		1 000	1 000	
Ni		2 500	2 500	
Eller Ni	30			30
Hg	0,8		0,8	
Eller Hg		8 000		200
Zn	4 000		4 000	
Cr	100		100	
As	25			

Vedlegg III: Spørsmålsskjema

Biokull – kartlegging av råvarer

Klimaetaten og Vann og -avløpsetaten har tatt initiativ til en mulighetsstudie som ser på hvordan en Oslomodell for både produksjon og bruk av biokull i byen kan se ut. Biokull produseres ved termisk behandling av biologisk materiale i en pyrolyseprosess. Omkring halvparten av karbonet blir lagret i biokullet i et 100 års perspektiv og karbonet lagret i biokullet anses som et negativt karbonutslipp. COWI AS er engasjert for å gjennomføre mulighetsstudien; «Kommunal modell for produksjon og bruk av biokull».

Sentralt for studien er derfor å kartlegge hvilke biologiske råvarer/restfraksjoner som oppstår i kommunen og som kan være aktuelle for å benyttes til produksjon av biokull. COWI har derfor behov for informasjon knyttet til mengder og kvalitet på potensielle råvarer. I tillegg trenger vi noe informasjon om dagens løsninger for håndtering av råvarene/restfraksjonene for å kunne vurdere økonomiske konsekvenser.

Noen virksomheter produserer aktuelle råvarer i egen drift, for eksempel Gravferdsetaten, Bymiljøetaten og Vann- og avløpsetaten. Andre virksomheter fungerer primært som mottakere av råvarer fra eksterne kilder, slik som Renovasjons- og gjenvinningsetaten, men også Vann- og avløpsetaten. Vi er interessert i å kartlegge ulike strømmer av organiske avfallsressurser i Oslo kommune som kan brukes som råvare til produksjon av biokull. Det være seg trevirke, hage- og parkavfall, husdyrgjødsel, vannverksslam, avløpslam/biorest, matavfall/biorest.

For å få et grunnlag for våre vurderinger ønsker vi også informasjon om bruk av den restfraksjon/biorest som produseres i dag. I tillegg ønsker vi informasjon om dagens avtaler for disponering av restfraksjon/biorest som er relevante for vurderinger knyttet til konsekvenser av eventuelle endringer i dagens håndtering. Dette omfatter bl.a. kostnader for dagens løsninger, behov for mellomlagerplass, kjøredistanser til mellomlager og brukere.

Finnes det prognoser for det som forventes i 2030 så suppler gjerne med dette.

Vi ber dere om å fylle ut tabellene så langt dere klarer. Tabell 1 er primært ment for de virksomheter som produserer avfall/råvarer i egen virksomhet. Tabell 2, 3, 4 og 5 er ment for de som er mottaker av avfallsressurser fra andre, behandler avfallet i egne anlegg og produserer restfraksjoner som kompost og biorest, som vil kunne være en råvare til biokullproduksjon. I tabell 6 er det ønskelig med en antagelse på mulig bruk av biokull i egen virksomhet og om det er spesifikke krav til det biokull som kan brukes.

Der dere mangler informasjon eller er usikre, gi en kommentar. Dupliser gjerne tabellen hvis virksomheten har flere typer råvarer/biorest eller legg til flere rader i skjema hvis det er behov for det.

Vi ber om en tilbakemelding på oversendt skjema innen 22.1.26. COWI vil følge opp innhenting av informasjonen med et møte/oppfølgende samtale med de ulike virksomheter i løpet av januar 2026.

1. Råvarer

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-1 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:			
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?	Hage- og parkavfall	Returtrevirke	Annet:
Informasjon om råvaren	I dag		2030
Råvare			
Mengde (tonn våtvekt/år)			

Tørrstoffinnhold (% TS)		
% VS av TS (organisk andel av TS)		
Kommentar til eventuell fordeling over året		
Hvordan disponeres råvaren i dag?		
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)		
Kommentar		

Tabell 0-2: Detaljer knyttet til avfall/råvare som mottas fra andre

Virksomhet					
Informasjon om råvarer			I dag	2030	
Hvilke råvarer mottas i dag?	Avløpsslam/ vannverkslam	Septik	Matavfall	Hage- og parkavfall	Annet*:
Type råvare					
Mengde (tonn våtvekt/år)					
TS som behandles (gjennomsnitt) (tonn TS/år)					
VS som behandles (gjennomsnitt) (tonn VS/år)					
Mottaksgebyr (kr/tonn)					
Kommentar					

* Hestegjødsel, næringssubstrat, o.l.

2. Biologisk behandling – (kompost/biogass)

For å få en oversikt over dagens behandling av mottatt avfall/råstoff på anleggene, ønsker vi litt mere informasjon om driften av anlegget. Dersom det er kjente flaskehalsar, gi opplysninger om dette også. Dersom man vurderer nye behandlingstrinn innen kort tid, angi hva dette er.

Tabell 0-3 Detaljer knyttet til dagens behandling

Virksomhet		
Råvare		
	I dag	2030
Estimert VS reduksjon %		
Antatt VS i råslam i % av TS		
Biogassproduksjon mill. Nm ³ /år		
Dagens behandlingskostnad (kr/tonn)		
Kommentar		

3. Kvalitet –kompost/biorest

Vi trenger opplysning om mengde kompost/biorest som produseres og informasjon om denne slik at vi kan vurdere muligheter for å benytte dette som råstoff til produksjon av biokull.

Detaljer om kvalitet på kompost/biorest, oppgis som vedlegg (ref. pkt. 5), herunder tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-4 Mengde og kvalitet - kompost/biorest. Hvis det er flere typer kompost/biorest lag en ny tabell for hver type

Virksomhet		
	I dag	2030
Mengde kompost (tonn/år)		
TS % i kompost		
VS % i kompost		
Mengde biorest (tonn/år)		
TS % i biorest		
VS % i biorest		
Kommentar		

4. Hvordan håndteres kompost/bioresten i dag?

Det er viktig å få informasjon om dagens mulighetsrom for håndtering av biorest. Vi ønsker å lage et komplett bilde på logistikktfordringer og avtaler for håndtering av biorest.

Tabell 0-5: Dagens håndtering av kompost og biorest, lag ny tabell for hver type kompost /biorest

Virksomhet	
	I dag
Type kompost/biorest fra tabell 4	
Hvem har avtale om disponering? Og hva omfatter avtalen?	
Avtalens varighet?	
Beredskapsavtaler mht. avvik i kvalitet hygiene og metallinnhold?	
Ev. mellomlagerplass (kapasitet og steder) samt km unna anlegget og avtalens varighet.	
Angi %-vis fordeling av produksjonene for disponering til landbruk/ grøntanlegg/jordproduksjon og annet (spesifiser)	
Inntekt/kostnad for dagens håndtering (kr/tonn)	
Kommentar	

5. Analyser knyttet til kvalitet og næringsinnhold av biorest

Sendes inn som vedlegg, analysebevis eller som tabeller. Dersom det finnes utfordringer knyttet til hygiene av ferdig produkt, gi opplysninger om funn mht. konsentrasjon av TKB, *E.coli* og *salmonella*.

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 0-6: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet		
	I dag	2030
Bruk av biokull		
Er det krav til det biokull som brukes?		
Kommentar		

Vedlegg IV: Oppsummering av alle svar

Der de ulike etatene ikke har fylt ut tabellene, er de tatt ut fra denne oversikten.

VAV – Bekkelaget renseanlegg

Noen av verdiene er korrigert som følge av oppfølgingssamtaler.

1. Råvarer

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 1 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:		Bekkelaget renseanlegg	
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?	Park-og hageavfall	Returtrevirke	Annet:
Informasjon om råvaren	I dag		2030
Råvare	Slam fra avløpsvanns rensing		
Mengde (tonn våtvekt/år)	212000		225000
Tørrestoffinnhold (% TS)	5,6 %		5,6 %
% VS av TS (organisk andel av TS)	26 %		26 %
Kommentar til eventuell fordeling over året	Ganske jevnt. Noe lavere i juli og august. Ca 5 %		Ganske jevnt. Noe lavere i juli og august. Ca 5 %
Hvordan disponeres råvaren i dag?	Pumpes til biogass anlegget		Pumpes til biogass anlegg
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)			
Kommentar			

Verdier ble korrigert etter oppfølgingssamtale med Bekkelaget renseanlegg:

Informasjon om råvare	I dag
Mengde ubehandlet avløpsslam (tonn våtvekt/år)	233.000
Tørrestoffinnhold av slam til råtnetank (%TS)	5,2
% VS av TS (organisk andel av TS) etter utråtning	49
Tonn TS utråtnet slam	19.442
Tørrestoff i utråtnet avvannet avløpsslam (%TS)	28,5

2. Biologisk behandling – (kompost/biogass)

For å få en oversikt over dagens behandling av mottatt avfall/råstoff på anleggene, ønsker vi litt mere informasjon om driften av anlegget. Dersom det er kjente flaskehalser, gi opplysninger om dette også. Dersom man vurderer nye behandlingstrinn innen kort tid, angi hva dette er.

Tabell 3 Detaljer knyttet til dagens behandling

Virksomhet	Bekkelaget renseanlegg	
Råvare	Slam fra avløpsvannsrensing	
	I dag	2030
Estimert VS reduksjon %	63%	65 %
Antatt VS i råslam i % av TS	26%	26 %
Biogassproduksjon mill. Nm ³ /år	4 050 000	4 350 000
Dagens behandlingskostnad (kr/tonn)		
Kommentar		

5. Analyser knyttet til kvalitet og næringsinnhold av biorest

Sendes inn som vedlegg, analysebevis eller som tabeller. Dersom det finnes utfordringer knyttet til hygiene av ferdig produkt, gi opplysninger om funn mht. konsentrasjon av TKB, *e.coli* og *salmonella*.

Sluttavvanning - Tungmetaller - 14-dagers blandprøve 1. jan. 2025 - 31. des. 2025

Måned	Sluttavvanning													
	14-dagers blandprøve													
	Aluminium mg/kg TS	Jern mg/kg TS	Kadmium mg/kg TS	Krom mg/kg TS	Kobber mg/kg TS	Kvikksølv mg/kg TS	Kalium mg/kg TS	Magnesium mg/kg TS	Nikkel mg/kg TS	Bly mg/kg TS	Sink mg/kg TS	Kalsium mg/kg TS	Tørrestoff %	Gløderest %
Januar	11 850		0,71	23,1	292,5	0,347	2 050	4 750	21,4	16,8	446	21 050	27,20	48,8
Februar	12 950		0,73	21,2	262,5	0,357	1 900	4 300	19,5	15,9	428	18 600	27,80	48,0
Mars	13 800		0,70	24,4	271,5	0,358	2 150	4 800	21,9	16,4	426	21 050	28,85	48,0
April	10 450		0,75	24,5	291,5	0,340	2 100	4 450	22,7	16,6	426	21 600	27,65	48,6
Mai	8 980		0,67	22,1	281,5	0,377	1 850	4 000	20,1	14,9	428	20 950	26,25	46,5
Juni	9 945		0,62	22,0	269,0	0,437	1 900	3 950	19,6	16,6	440	19 400	28,20	47,1
Juli	9 750		0,67	23,4	275,5	0,538	1 900	3 950	22,0	17,4	465	19 650	28,75	48,5
August	10 745		0,65	23,6	271,0	0,514	2 000	4 100	21,6	19,6	458	19 800	28,65	46,8
September	13 550		0,68	24,9	274,7	0,366	2 133	4 133	22,8	18,4	467	19 200	28,90	47,6
Oktober	18 400		0,68	23,6	260,5	0,414	2 150	3 900	22,9	18,6	435	18 500	28,85	47,9
November	11 150		0,49	15,5	173,0	0,130	1 555		16,1	12,4	310	12 650	28,25	47,0
Desember	4 400		0,21	6,6	73,0		660		6,6	4,6	130	5 300	100,00	46,0
Sum														
Snitt	11 331		0,63	21,2	249,7	0,380	1 862	4 233	19,8	15,7	405	18 146	34,11	47,6
Maks	18 400		0,75	24,9	292,5	0,538	2 150	4 800	22,9	19,6	467	21 600	100,00	48,8
Min	4 400		0,21	6,6	73,0	0,130	660	3 900	6,6	4,6	130	5 300	26,25	46,0
Antall	12	0	12	12	12	11	12	10	12	12	12	12	12	12

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 6: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet		
	I dag	2030
Bruk av biokull	Nei	Ukjent
Er det krav til det biokull som brukes?		
Kommentar	-Naturbaserte løsninger for overvannshåndtering (f.eks. biofilter, infiltrasjonsanlegg, mm.) i byen. -Klimatilpasningstiltak i byen. -Overløphåndtering fra avløpsrensing (f.eks. fra pumpestasjoner). -Kvartærrensing ifm. avløpsrensing om vårt slam er egnet for dette	

VAV – vannverkslam OSET

1. Råvarer

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 1 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:	VAV Oslo Oset vannbehandlingsanlegg		
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?	Park-og hageavfall	Returtrevirke	Annet: Slam
Informasjon om råvaren	I dag	2030	
Råvare	Slam fra drikkevannsproduksjon		
Mengde (tonn våtvekt/år)	8000		
Tørrestoffinnhold (% TS)	17-18		
% VS av TS (organisk andel av TS)			
Kommentar til eventuell fordeling over året	Jevn produksjon		
Hvordan disponeres råvaren i dag?	jordforbedring		
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)			
Kommentar	TOC: 22.7% TS		

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 6: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet		
	I dag	2030
Bruk av biokull	Nei	Ukjent
Er det krav til det biokull som brukes?		
Kommentar	-Naturbaserte løsninger for overvannshåndtering (f.eks. biofilter, infiltrasjonsanlegg, mm.) i byen. -Klimatilpasningstiltak i byen. -Overløphåndtering fra avløpsrensing (f.eks. fra pumpestasjoner). -Kvartærrensing ifm. avløpsrensing om vårt slam er egnet for dette.	

BYM - Avd. Skog og landskap

1. Råvarer

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-1 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:		Avd. Skog og landskap, BYM		
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?		Hage- og parkavfall X	Returtrevirke X	Annet:
Informasjon om råvaren	I dag	2030		
Råvare	Stammer, kvist, bladverk, flis, park- og hageavfall, stubber mv.			
Mengde (tonn våtvekt/år)	Stubber og rest fra tømmerhogst: 750 -1500 m3 årlig (se lenger ned). Øyene leverer til mottak ca. 2600 m3 årlig (hageavfall maks 15 cm diameter).			
Tørrestoffinnhold (% TS)				
% VS av TS (organisk andel av TS)	Har ikke denne informasjonen.			
Kommentar til eventuell fordeling over året	Trær kan være hele året, men det er mer aktivitet i sommerhalvåret og mer hageavfall da mv.			
Hvordan disponeres råvaren i dag?	Skogdrift: Det felles ca. 15 000 m3 hvert år. Det meste av tømmeret selges som tømmer (60 %). 5 –10 % er stubber og kvist (biovirke) som selges til oppvarming, men dette kan man vurdere videre om er relevant for produksjon av biokull, man må vurdere økonomiske konsekvenser. Resten selges til Nortømmer - egen avtale. Noe legges igjen i anleggene (jf. Mål om å ivareta biologisk mangfold). Det lagres også noe på steder tilknyttet drifta (skogen mv.) Mer smått hageavfall leveres til Oslokompost eller brukes i egen drift. Øyene: egne oppsamlingsplasser for grøntavfall. Større trær blir liggende på øyene. Fremmede arter leveres til			

	Franzefoss eller annet mottak. Besøkgårdene bruker alt organisk materiale i egen drift.	
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)	Varierer – noe får man betalt for, noe leveres til ulike mottak.	
Kommentar	Flere ulike tjenestesteder med svært ulik drift og ulike arealer. Mye brukes internt i egen drift.	

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 0-2: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet	Avd. Skog og landskap, BYM	
	I dag	2030
Bruk av biokull	Ikke helt tydelig behov i skogsdrift eller øyforvaltning. Kan være relevant på besøkgårdene, f.eks. som jordforbedrer.	
Er det krav til det biokull som brukes?	Marka og øynene tilfører lite nye masser bortsett fra der det allerede er veldig tilrettelagt for friluftsliv (eks.skogsveier oppgraderes). Man må være påpasselig med å endre de naturlige forholdene, og sikre at man ikke sprer skadegjørere (både virus, bakterier og andre mikroorganismer).	
Kommentar	Det er særlig relevant som jordforbedrer, som ved treplanting, kompostering mv. Det ville være nyttig om fremmede arter kunne behandles med pyrolyse fremfor kompost, f.eks. fra øyene, for å hindre spredning.	

BYM - Park og byrom

Tabell 0-3 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:		Park og byrom		
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?		Hage- og parkavfall X	Returtrevirke X	Annet:
Informasjon om råvaren		I dag	2030	
Råvare		Stammer, kvist, bladverk, flis, park- og hageavfall		
Mengde (tonn våtvekt/år)		Park indre: 1247 m3 med hageavfall Park indre: 87 felte trær årlig, med ulik stammeomkrets.. Stor variasjon mellom områder og kontrakter (se lenger ned). Trekontraktene (2 stk.) produserer mye organisk avfall som må fjernes, og den ene har egen årlig gjenvinningsrapport (se vedlegg)		
Tørrestoffinnhold (% TS)				
% VS av TS (organisk andel av TS)		Har ikke denne informasjonen.		
Kommentar til eventuell fordeling over året		Det meste av avfallet produseres i sommersesongen, ca. april til oktober. Trær beskjæres hele året, og det varierer med oppdrag, vær mv. Det er også variasjoner mellom områder av byen, det fjernes mer organisk avfall i indre by, og mellom parkkontrakter og trekontrakter. Vil være høyere fare for forurensning for avfall fra sentrumsnære områder (og f.eks. høyere nivåer av salt i bytrærne).		
Hvordan disponeres råvaren i dag?		Mye legges igjen i anleggene (jf. Mål om å ivareta biologisk mangfold). Mye legges igjen i anleggene (jf. Mål om å ivareta biologisk mangfold), f.eks. Østensjø, park nord og sør mv. Store stammer leveres til Oslokompost hvis ikke de kan bli		

	liggende på stedet eller skal brukes i andre anlegg, eller de leveres til ideelle aktører (eks. Abildsø gård)	
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)		
Kommentar	En barrierer for innlevering er plassering av mottak. Kontraktene er geografisk avgrenset, og det er mange entreprenører som har sine kontorer utenfor Oslo. En annen er at det koster penger å levere inn avfall - så man ser også på gjenbruk av avfallet lokalt. I trekontraktene er det enklere å gi god oversikt, fordi det meste av avfallet må fjernes fra anleggene og fordi det må leveres til REG. Det er lagt ved en detaljert gjenvinningsrapport fra en av trekontraktene for de siste tre år, men det er sannsynligvis minst like mye på den andre (men den har ikke samme krav om denne rapporten).	

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 0-4: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet		
	I dag	2030
Bruk av biokull	Ja, f.eks. i et pilotprosjekt på Oppsal, samt noen bytrær i Bygdøy alle. Brukt i ulik fraksjon, men som en vesentlig del av jordblandingen	
Er det krav til det biokull som brukes?	Viktig at det sees i sammenheng med overvannshåndtering, men det er potensiale for at det kan brukes til på bygge opp rotvennlige forsterkningslag. Viktig å finne ut mer om hvordan det holder på vann mv. Kan ha høy ph, så det kan også gjøre det uegnet på en del av arealene. Bør være maks 15 volumprosent i blandingen for at det skal ha en jordforbedrende effekt.	
Kommentar	Det er særlig relevant som jordforbedring, f.eks. ved treplanting, og kan være relevant å vurdere sammen stein, kompost og biokull ved etablering/oppgradering av parker mv. (Stockholm- modellen). Der det er mye bruk, da det kan være en del av oppbyggingen sammen stein og kompost. Kan bruke det sammen med pukk og gir næringstilsig over tid. Kan være nyttig for håndtering av fremmed arter med stort spredningspotensial?	

BYM- Idrett

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-5 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet: Idrett				
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?		Hage- og parkavfall X	Returtrevirke X	Annet:
Informasjon om råvaren		I dag		2030
Råvare		Stammer, kvist, bladverk, flis, park- og hageavfall		
Mengde (tonn våtvekt/år)		Uvisst		
Tørrestoffinnhold (% TS)		Har ikke denne informasjonen.		
% VS av TS (organisk andel av TS)		Har ikke denne informasjonen.		
Kommentar til eventuell fordeling over året		Det meste av avfallet produseres i sommersesongen, ca. april til oktober. Trær beskjæres hele året, og det varierer med oppdrag, vær mv. Det er særlig gressklipping og noe beskjæring av busker og småtrær.		
Hvordan disponeres råvaren i dag?		Mye legges igjen i anleggene (eks. Gress). Kvist og bladverk oppbevares/komposteres gjerne på driftsstasjoner, eller leveres til mottak		
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)				
Kommentar		Evt. Ekebergsletta som har mest relevant organisk avfall?		

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 0-6: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet		
	I dag	2030
Bruk av biokull	Brukes ikke.	Kan være relevant i anlegg som eksbergsletta o.l?
Er det krav til det biokull som brukes?	Samme som for park og byrom-	
Kommentar	Kan være relevant i plen mv. (al la Sandnes sitt produkt). Det kan være en del av jordblandingen sammen stein og kompost.	

REG - Oslo kommune, Renovasjons- og gjenvinningsetaten

1. Råvarer

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-7 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:				
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?		Hage- og parkavfall	Returtrevirke	Annet:
Informasjon om råvaren		I dag		2030
Råvare				
Mengde (tonn våtvekt/år)		20 000 tonn		Inntil 30 000 tonn
Tørrestoffinnhold (% TS)		Ca 20%		ca 20%
% VS av TS (organisk andel av TS)		ca 20%		Ca 20%
Kommentar til eventuell fordeling over året				
Hvordan disponeres råvaren i dag?		Produksjon av hageavfallskompostprodukter		
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)		500 kr		
Kommentar				

Tabell 0-8: Detaljer knyttet til avfall/råvare som mottas fra andre

Virksomhet		Oslo kommune, Renovasjons- og gjenvinningsetaten		
Informasjon om råvarer		I dag	2030	
Hvilke råvarer mottas i dag?	Avløpsslam/ vannverkslam	Septik	Matavfall	Park-hageavfall Annet*:
Type råvare		Hage- og parkavfall: komposteres Returtrevirke: leveres til materialgjenvinning og forbrennes avhengig av kvalitet.		Det samme
Mengde (tonn våtvekt/år)		20 000 tonn		Inntil 30 000 tonn
TS som behandles (gjennomsnitt) (tonn TS/år)		50-60%		50-60%
VS som behandles (gjennomsnitt) (tonn VS/år)		50-60%		50-60%
Mottaksgebyr (kr/tonn)		500kr/tonn		Usikkert. Øker med KPI pr år eller

		etter krav fra Bystyret?
Kommentar		

* Hestegjødsel, næringssubstrat, o.l.

2. Biologisk behandling – (kompost/biogass)

For å få en oversikt over dagens behandling av mottatt avfall/råstoff på anleggene, ønsker vi litt mere informasjon om driften av anlegget. Dersom det er kjente flaskehalsar, gi opplysninger om dette også. Dersom man vurderer nye behandlingstrinn innen kort tid, angi hva dette er.

Tabell 0-9 Detaljer knyttet til dagens behandling

Virksomhet	Komposteringsanlegget på Grønmo	
Råvare	Hage- og parkavfall	
	I dag	2030
Estimert VS reduksjon %	50-40%	50-40%
Antatt VS i råslam i % av TS	na	
Biogassproduksjon mill. Nm ³ /år	na	
Dagens behandlingskostnad (kr/tonn)	Ca 110 kr pr tonn	Usikkert. Øker med KPI pr år?
Kommentar	110 kr pr tonn er estimat basert på pris for mottak av hestegjødsel. Selvkostpris.	

3. Kvalitet –kompost/biorest

Vi trenger opplysning om mengde kompost/biorest som produseres og informasjon om denne slik at vi kan vurdere muligheter for å benytte dette som råstoff til produksjon av biokull.

Detaljer om kvalitet på kompost/biorest, oppgis som vedlegg (ref. pkt. 5), herunder tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-10 Mengde og kvalitet - kompost/biorest. Hvis det er flere typer kompost/biorest lag en ny tabell for hver type

Virksomhet		
	I dag	2030
Mengde kompost (tonn/år)	10 000	15 000
TS % i kompost	50-60%	50-60%
VS % i kompost	50-60%	50-60%
Mengde biorest (tonn/år)		
TS % i biorest		
VS % i biorest		
Kommentar		

4. Hvordan håndteres kompost/bioresten i dag?

Det er viktig å få informasjon om dagens mulighetsrom for håndtering av biorest. Vi ønsker å lage et komplett bilde på logistikkutfordringer og avtaler for håndtering av biorest.

Tabell 0-11: Dagens håndtering av kompost og biorest, lag ny tabell for hver type kompost /biorest

Virksomhet	
	I dag
Type kompost/biorest fra tabell 4	Hageavfallskompost
Hvem har avtale om disponering? Og hva omfatter avtalen?	Ingen avtaler om salg. Selges til husholdnings- og næringskunder i stor Oslo.
Avtalens varighet?	
Beredskapsavtaler mht. avvik i kvalitet hygiene og metallinnhold?	Krav ihht REGs internkontroll og krav fra SFOV og Mattilsynet.
Ev. mellomlagerplass (kapasitet og steder) samt km unna anlegget og avtalens varighet.	Ingen mellomlagring.
Angi %-vis fordeling av produksjonene for disponering til landbruk/ grøntanlegg/jordproduksjon og annet (spesifiser)	Vi selger ikke til landbruk.
Inntekt/kostnad for dagens håndtering (kr/tonn)	240 kr til 440 kr avh av kompostprodukt.
Kommentar	

GPE - Gravplassetaten

1. Råvarer

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-12 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:		Gravplassetaten			
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?		Hage – og parkavfall X		Returtrevirke	Annet:
Informasjon om råvaren		I dag		2030	
Råvare		Trevirke, døde trær		Trevirke, døde trær	
Mengde (tonn våtvekt/år)		Ca 15 tonn (anslag)		Ca 15 tonn (anslag)	
Tørrestoffinnhold (% TS)					
% VS av TS (organisk andel av TS)					
Kommentar til eventuell fordeling over året					
Hvordan disponeres råvaren i dag?		Leveres Oslokompost			
Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)					
Kommentar		Total mengde park- hage og vegetabilsk avfall som leveres Oslokompost fra gravplassene i Gravplassetaten er på 200 tonn i 2025. Vårt anslag er at ca 15 tonn av dette er døde trær.			

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 0-13: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet		
	I dag	2030
Bruk av biokull	Ingen	?
Er det krav til det biokull som brukes?	Nei	
Kommentar	Vi er villige til å teste ut.	

OBF - OsloBygg

1. Råvarer

Dersom det finnes analyser på kvaliteten på avfallet før behandling oppgis dette i vedlegg, herunder informasjon om tungmetaller, miljøgifter og plantenæringsstoffer.

Tabell 0-14 Detaljer knyttet til avfallet/råvarene dere genererer

Virksomhet:		Oslobygg		
Hvilke potensielle råvarer produseres i dag?	Hage- og parkavfall X	Returtrevirke X	Annet: All slags byggavfall i papp, gips osv.	
Informasjon om råvaren	I dag		2030	
Råvare	BYGGAVFALL OBF leverer fra 2000-8000 tonn totalt med byggavfall hvert år. <u>Trevirke:</u> Utgjør ca. 1/3 av det totale avfallet. Utgjør dermed 600-2700 tonn trevirke. Vanligvis mellom 1000-2000 tonn. <u>Papp, papir og kartong:</u> Ca. 4% av total byggavfall. 80-320 tonn. <u>Park- og hageavfall:</u> Utgjør lite av det totale avfallet fra byggeprosjekter. «Noen tonn» hvert år. Vi har noe park- og hageavfall fra drift og skjøtsel av eiendommene. Har ikke tall for dette, men har forespurt omtrentlige tall. Riveavfall Varierer mye, ca. samme størrelsesorden som totalt byggavfall årlig. Mindre andel av dette er trevirke, antas rundt 1000 tonn årlig. Kvaliteten er dårligere. Ikke særlige mengder med papp eller park-/hageavfall.		1000-2000 tonn årlig?	
Mengde (tonn våtvekt/år)				
Tørrestoffinnhold (% TS)				
% VS av TS (organisk andel av TS)				
Kommentar til eventuell fordeling over året	Aktiviteten vår varierer en del – men man kan anta at det er et forholdsvis jevnt trykk.			
Hvordan disponeres råvaren i dag?	Behandles av avfallsselskapene		Behandles av avfallsselskapene	

Kostnad for levering av råvarene (kr/tonn)	Ca. 1000 NOK/tonn? Sitter ikke med data for dette. Mulig dere har dette?	
Kommentar	Vil ikke utgjøre store besparelser eller kostnadsøkninger for OBF. Det vil trolig bli noe økte kostnader. Vi kan kreve at en viss andel av avfallet skal leveres til et spesifikt mottak – så lenge det finnes et sted å levere dette innenfor ordinære åpningstider (og om det da ikke er veldig mye mer kostbart å levere til dette stedet). Det kan da f.eks. avsettes et visst antall containere per prosjekt som leveres til et annet mottak iht. nærmere avtale. Vi kan kreve at park- og hageavfall leveres til et spesifikt mottak ifm. drift/vedlikehold av grøntanlegg. Dette vil da være et krav med leverandørene i de relevante rammeavtalene. Dette vil trolig ha økte kostnader, og rammeavtalene lyses typisk ut for 3-4 år av gangen.	

6. Bruk av biokull

Det er ønskelig med et anslag over potensiell bruk av biokull i egen virksomhet.

Tabell 0-15: Bruk av biokull i egen virksomhet

Virksomhet	Oslobygg	
	I dag	2030
Bruk av biokull	0	Uvisst.
Er det krav til det biokull som brukes?	Nei.	
Kommentar	Vi har ingen konkrete planer om bruk av biokull i <u>driften</u> av våre bygninger, men det er av interesse til bruk i våre utomhusområder (jordsmonn osv.), og evt. grønne tak. Vi er også interesserte i bruk i byggematerialer som betong osv., men antar at dette vil løses kommersielt.	