

Slamhåndtering i forbindelse med centralisering

Rapportering på feasibility studie omkring slamhåndtering i forbindelse med centralisering

Bornholms Energi & Forsyning

Udarbejdet af Envidan



Envidan
Sustainable Engineering

Opgaven og formålet

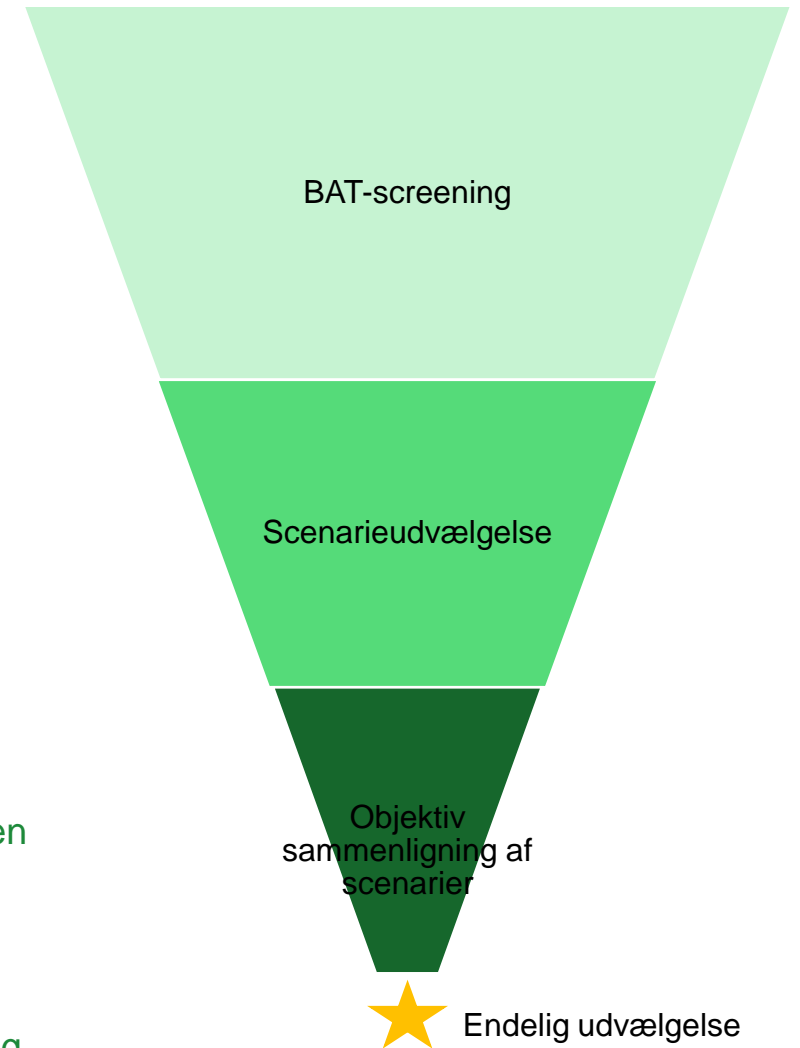


Baggrund

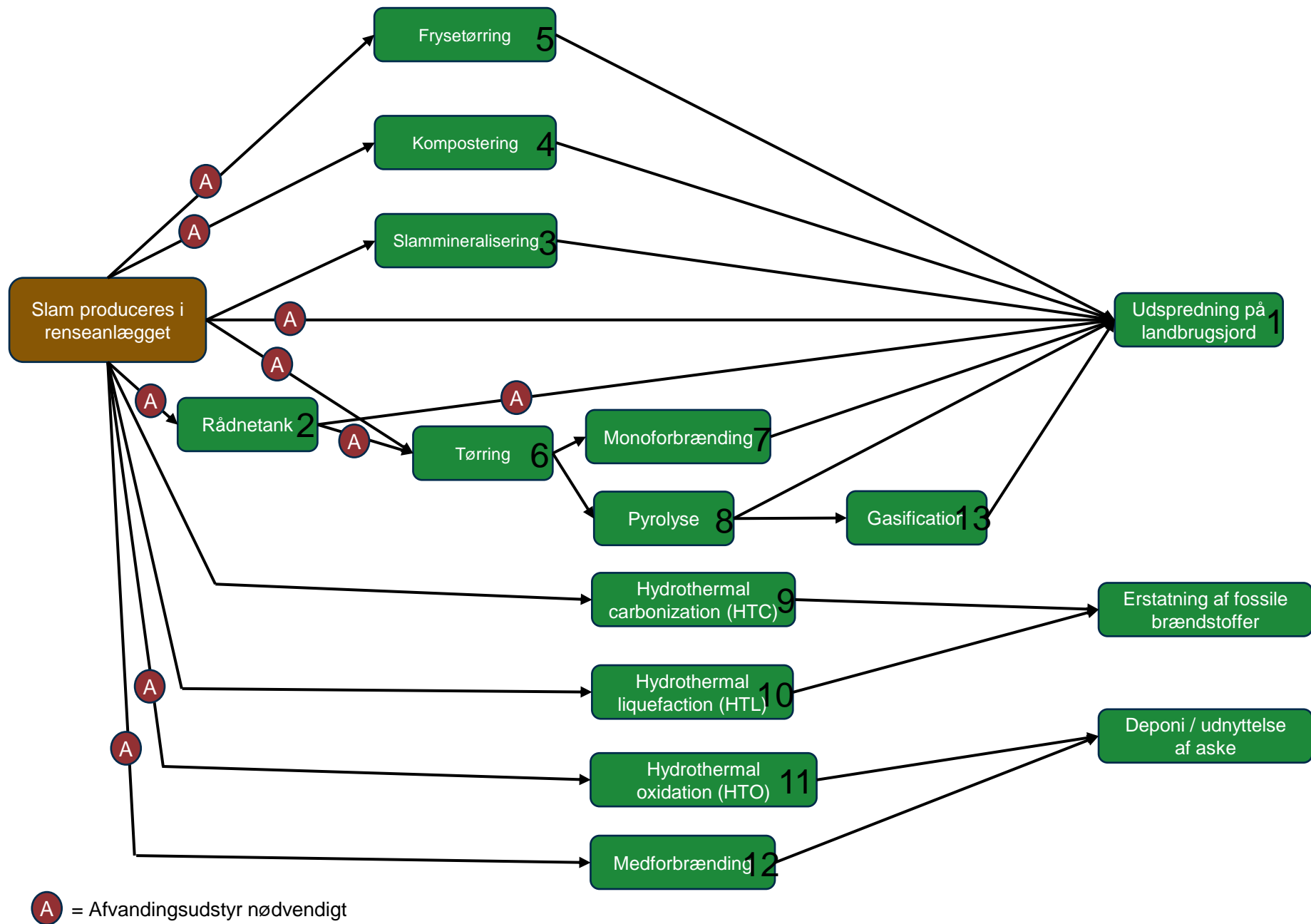
- Envidan har foretaget et feasibility studie af relevante slamhåndteringsteknologier, for at give BEOF et beslutningsgrundlag for hvordan slamhåndteringen skal opbygges, i forbindelse med en fremtidig centralisering.
- Der er taget afsæt i de fremtidige belastninger til et centralt renseanlæg, og på baggrund af dette er de udvalgte scenarier evalueret.
- Scenarierne er udvalgt i samarbejde med BEOF, efter skabelonen, præsenteret på næste side.
- Der er opsat en række evalueringskriterier, som alle vurderingskriterierne er holdt op mod.
- Slutresultatet er denne præsentation, der giver en objektiv vurdering af scenarierne. Der er ikke lavet nogen bedømmelse af, hvilke scenarier der slutteligt scorer bedst. Afgørelsen af hvilket scenarier der vurderes bedst er op til BEOF, og dette feasibility studie fungerer som et grundlag hvorpå beslutningen kan træffes.
- Til præsentationen følger en bilagsrapport, hvori baggrund for de enkelte vurderinger er beskrevet. I bilagsrapporten er der også oplistet forudsætninger for økonomiske og miljømæssige beregninger, og andre detaljer relateret til bedømmelsen.

Udvælgelses- proces for scenarier

- BAT-screeningen starter med at alle teknologier til slamhåndtering evalueres, og screenes i forhold til udvalgte kriterier
- På baggrund af BAT-screeningen opstilles de mest relevante scenarier overfor hinanden
- Envidan opstiller de udvalgte scenarier overfor hinanden i en objektiv sammenligning ud fra den fulde liste over vurderingskriterier
- BEOF kan på baggrund af den objektive sammenligning udvælge det scenarier, som findes mest attraktivt. Envidan har ingen rolle i denne udvælgelse



Overblik over teknologier screenet i BAT-screening, og hvorledes de relaterer sig til hinanden



Opsummering af fravalgte teknologier

Teknologi	Begrundelse for fravalg
Slammineralisering	Teknologien kræver meget plads samt har dårlige fremtidsperspektiver i forhold til regulering. *De klimatiske forhold i DK ikke egnet.
Kompostering	
Frysetørring*	
Hydrothermal carbonization (HTC)	Lav teknologimodenheden, hvilket betyder høj usikkerhed på teknologianvendelse
Hydrothermal liquefaction (HTL)	
Hydrothermal oxidation (HTO)	
Medforbrænding	Ikke lokaleforhold til det, da affaldsforbrændingen lukker, og indtil da ikke vil modtage spildevandsslam.
Gasification	Kompleks teknologi, et evt. add-on kan overvejes på et senere tidspunkt (forudsætter pyrolyse)

De enkelte teknologier og screeninger er yderligere uddybet i præsentationen "BAT-screening af teknologier til slamhåndtering ved centralisering"

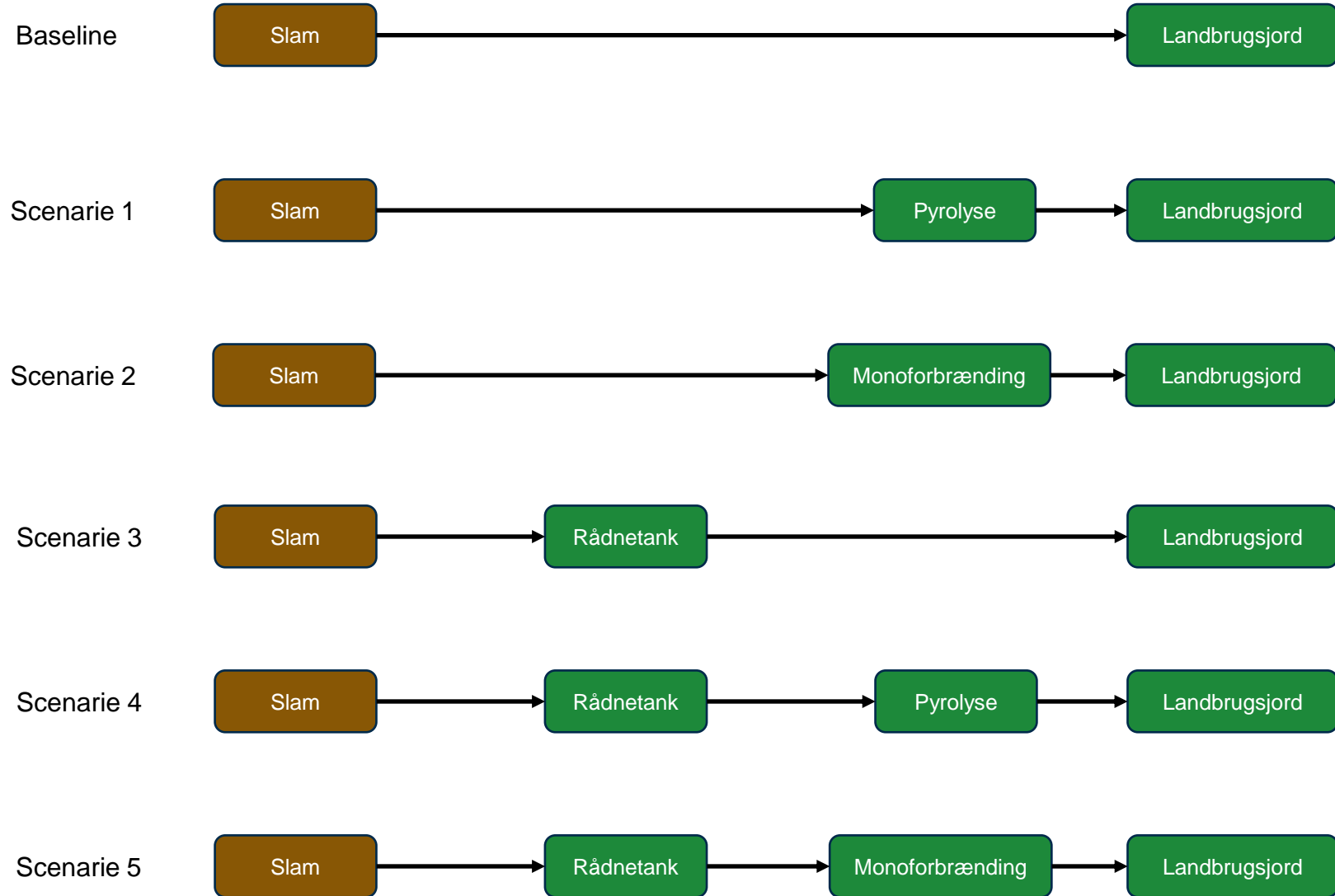
Scenarier



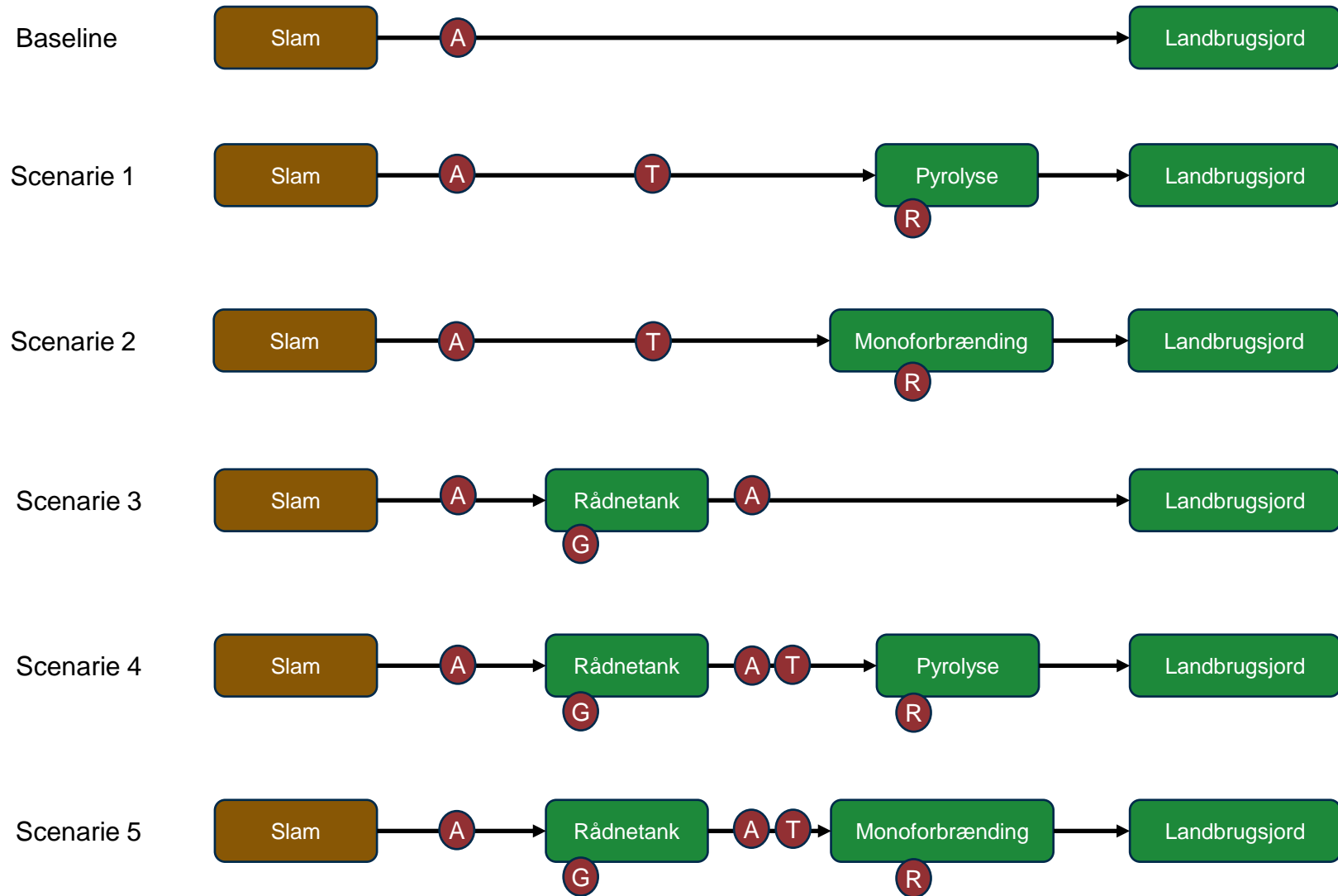
Scenarier

- På baggrund af BAT-screeningen er der i samarbejde mellem BEOF og Envidan udvalgt fem scenarier, som også holdes op mod basisscenariet (direkte udspredelse på landbrugsjord), som er den slamhåndtering der i dag sker på Bornholm. Basisscenariet er medtaget som sammenligningsgrundlag.
- De fem scenarier repræsenterer de mest lovende scenarier i forhold til at håndtere slammet fremadrettet.
- Scenarierne er alle kommercielt tilgængelige med flere forskellige leverandører og vil kunne implementeres på nuværende tidspunkt.
- Envidan har ingen interesse i nogle af scenarierne, og er fuldstændig uvildig rådgiver uden interesser i nogen af teknologierne der præsenteres og evalueres.

Scenarier



Scenarier



A = Afvandingsudstyr nødvendigt

R = Røggasrensning nødvendigt

T = Tørring nødvendigt

G = Gaslager og gasmotor nødvendigt

Introduktion af teknologier



Pyrolyse

Pyrolyse er en iltfri omdannelse af organisk stof til faste, flydende og gasformige produkter.

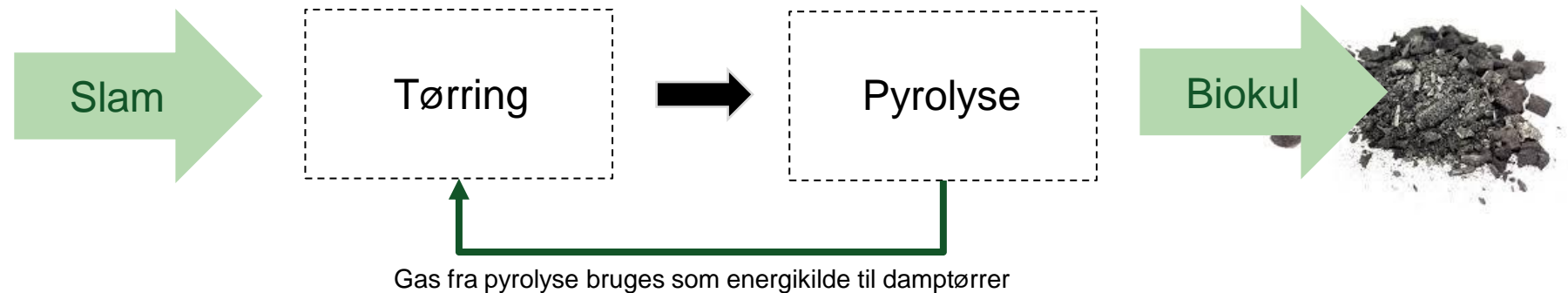
Pyrolyseanlægget består af en damptørre og en stor ovn, hvor pyrolysen finder sted:

1. Tørring af spildevandsslammet
2. Opvarmes til 650°C under iltfattede forhold

Processen er potentielt selvforsynende i forhold til energi, da pyrolysegasser bruges som energikilde til at drive tørringen.

Pyrolyse har biokul som slutprodukt. Biokul kan spredes på landbrugsjord og er en fosforkilde og metode til kulstoflagring.

- Slammængden reduceres væsentligt (Samlet mængde reduceres til en ottendedel)
- Ingen emissioner af klimabelastende drivhusgasser fra slamudspredning, når udspredning sker som biokul
- Bevaring af næringsstoffer og mineraler, som fosfor
- Destruktion af de fleste miljøfremmede stoffer (medicinrester, mikroplast, polymer og tungmetaller). Usikkerhed om bla. PFAS.



Mono- forbrænding

Ved monoforbrænding gennemgår det organiske materiale en komplet forbrænding, hvorved der dannes en fosforholdig aksefraktion, flyveaske og røggas.

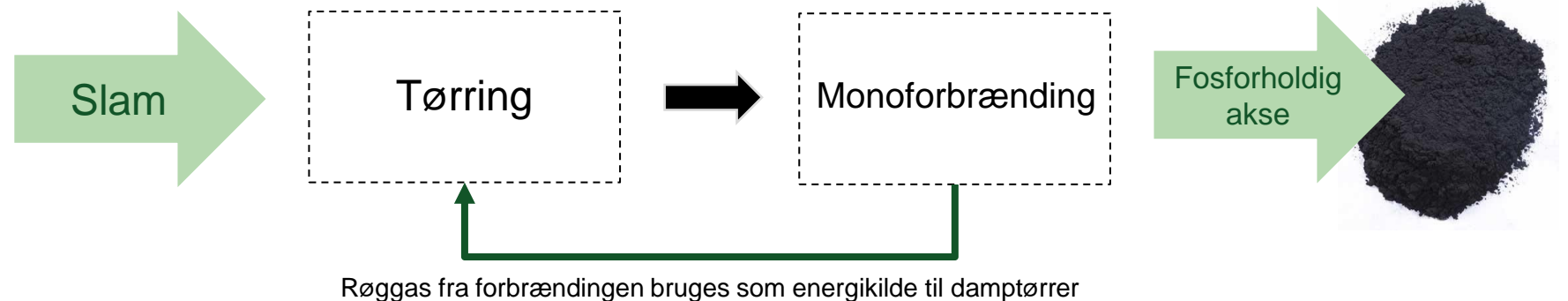
Anlægget består af en tørre og en roterovn, hvor monoforbrændingen finder sted:

1. Tørring af spildevandsslammet
2. Forbrænding ved 1000°C, i en roterende cylinder (forhindring af slaggedannelse), ved tilstedeværelse af ilt

Varmeenergien udnyttes til dampptørringen.

Vådt slam <20 TS%, kan give behov for støttebrændsel (f.eks. tørre spåner, savsmuld eller tørret slam)

- Slammængden reduceres væsentligt (Samlet mængde reduceres til en tiendedel)
- Ingen emissioner, som metan og lattergas, fra askeproduktet hvis dette udbringes.
- Monoforbrændingen gør bl.a. fosfor biotilgængeligt = optages og udnyttes af planter og mikroorganismer.
- Destruktion af miljøfremmede stoffer (medicinrester, mikroplast, polymer og tungmetaller, PFAS)



Rådnetank

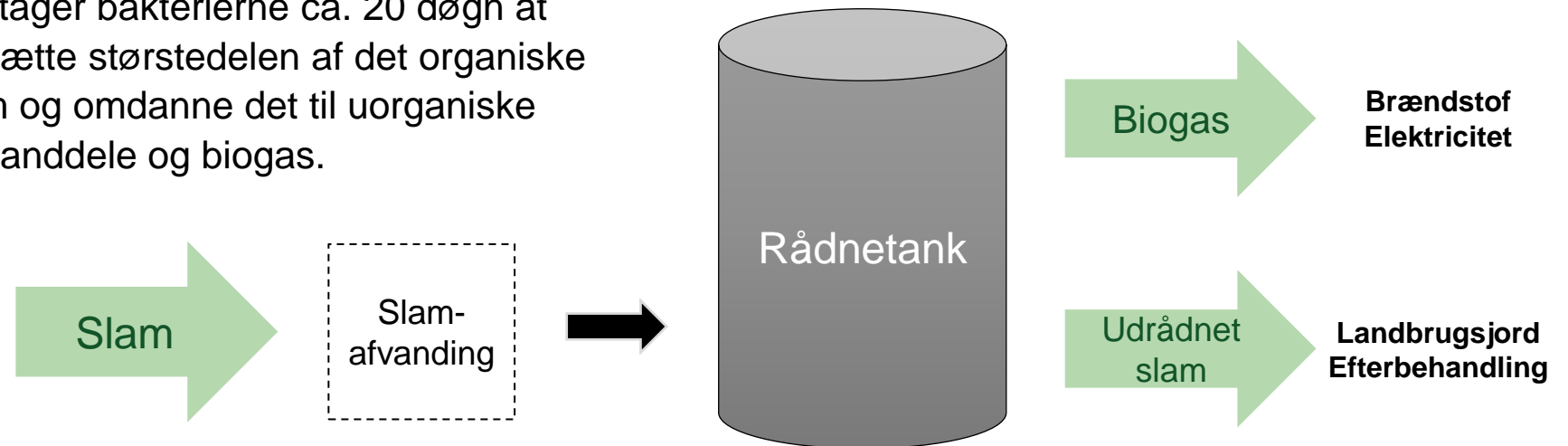
Under anaerob nedbrydning sker en mikrobiel processer, hvor bakterierne i rådnetanken nedbryder noget af det biologiske materiale i slammet til biogas.

Rådnetanken er hovedkomponent ved den anaerobe nedbrydning:

- Processen forgår under mesofile betingelser (35-37°C)
- Under nedbrydningsprocessen dannes biogas, som primært består af metan og kuldioxid
- Slamaftvanding før og efter rådnetanken

Det tager bakterierne ca. 20 døgn at omsætte størstedelen af det organiske slam og omdanne det til uorganiske bestanddele og biogas.

- Stabilisering af slammet
- Reduktion af tørstofindholdet i slammet
- Reducering af klimabelastende drivhusgas emission
- Rådnetanken er en fossilfri energikilde til biogas, der kan bruges til el- og varmeproduktion



Opbygning af renselanlægget - 1-trins renselanlæg vs. 2-trins renselanlæg

1-trins renselanlæg:

I et 1-trins renselanlæg, sendes indløbsspildevandet direkte ind i procestanken, hvor alt forureningen omsættes. Alt slam kommer ud som biologisk overskudsslam

- Processen omfatter:
 - Mekanisk rensning
 - Biologisk rensning

2-trins renselanlæg:

I et 2-trins renselanlæg, sendes indløbsspildevandet først gennem forklaringstanke, hvor er del af indløbsbelastningen tages ud som primærslam. Herefter løber spildevandet ind i procestankene, hvor den resterende belastning omsættes. Slammet tages ud som ca. 50% primærslam og 50 % biologisk overskudsslam

- Processen omfatter:
 - Mekanisk rensning
 - Udtag af primærslam (forklaringstanke eller forfiltrering)
 - Biologisk rensning

I basisscenariet samt scenarie 1 og 2, er anlægget et 1-trinsrenselanlæg, hvor følgende er gældende:

- Slamproduktet er biologisk slam
- Ingen forklaringstanke
- Større procesvolumen
- Mere energi på beluftning
- Mindre efterklaringstanke
- Ingen rådnetanke

I scenarie 3, 4 og 5, er anlægget et 2-trinsrenselanlæg, hvor følgende er gældende:

- Slamproduktet er primær og biologisk slam
- Indeholder forklaringstank
- Mindre procesvolumen
- Mindre energi på beluftning
- Større efterklaringstanke
- Indeholder rådnetanke

Evalueringskriterier



Evalueringskriterier

- Anlægsinvestering
- Driftsøkonomi
- NPV Nutidsværdi
- Energibalance
- CO₂ EQ
- Miljøfremmede stoffer
 - Tungmetaller
 - PFAS
 - Organiske forbindelser
 - Polymer fra slamafvanding
- Næringsstoffer
- Påvirkning af lokalmiljø (lugt, sikkerhedsafstand, andre gener)
- Arbejdsmiljø
- Komplexitet
- Robusthed ved nedklassificering af slam
- Robusthed ved nedgang i slammængder
- Fremtidig regulatorisk udvikling
- Udbygningsmuligheder

Evalueringskriterierne er udvalgt på baggrund af projektforløbet mellem BEOF og Envidan. Evalueringskriterierne er opsat for at give så bredt og dækkende et billede af de forskellige scenarier. Scenarierne vurderes overfor hinanden, med hver enkelt evalueringskriterie.

Sammenstilling af scenarierne



Overblik

I gennemgangen af de forskellige vurderingskriterier og scenarier bruges der en farvekode til at illustrere hvordan scenariet vurderes indenfor det pågældende kriterie. Herunder ses det hvordan de forskellige farvekoder skal forstås.

Ved en del af vurderingerne, er der foretaget detaljerede beregninger. Nogle vurderinger er objektive vurderinger foretaget af Envidan. Skalaen, hvorefter de enkelte scenarier bedømmes, er afmålt, således at det dårligst scenarie indenfor det givne vurderingskriterie er rangeret som dårligst, og det scenarie der er vurderet som bedst, er rangeret som bedst. Rangeringen er derfor kun udført i forhold til de fem opstillede scenarier + basisscenarie. Andre teknologier er ikke medtaget i bedømmelsen

	Scenariet er bedst mulige indenfor kriteriet
	Scenariet er godt indenfor kriteriet
	Scenariet er middelmådigt indenfor kriteriet
	Scenariet er ringe indenfor kriteriet
	Scenariet er det dårligste indenfor kriteriet

Økonomi

	0	1	2	3	4	5
	Baseline	Pyrolyse	Mono- forbrænding	Rådnetank	Rådnetank + pyrolyse	Rådnetank + Mono- forbrænding
Anlægsinvestering						
Driftsøkonomi						
NPV Nutidsværdi						
Energibalance						
CO ₂ eq						
Miljøfremmede stoffer						
Næringsstoffer						
Påvirkning af lokalmiljø						
Arbejds miljø						
Kompleksitet						
Robusthed ved nedklassificering af slam						
Robusthed ved nedgang i slammængder						
Fremtidig regulatorisk udvikling						
Udbygningsmuligheder						

Miljø

	0	1	2	3	4	5
	Baseline	Pyrolyse	Mono- forbrænding	Rådnetank	Rådnetank + pyrolyse	Rådnetank + Mono- forbrænding
Anlægsinvestering						
Driftsøkonomi						
NPV Nutidsværdi						
Energibalance*						
CO ₂ eq						
Miljøfremmede stoffer						
Næringsstoffer**						
Påvirkning af lokalmiljø						
Arbejdsmiljø						
Kompleksitet						
Robusthed ved nedklassificering af slam						
Robusthed ved nedgang i slammængder						
Fremtidig regulatorisk udvikling						
Udbygningsmuligheder						

*Øverst: Varme kan udnyttes, Nederst: Varme kan ikke udnyttes

**Øverst: Med høst fra rejktvand, Nederst: Uden høst fra rejktvand

Driftforhold

	0	1	2	3	4	5
	Baseline	Pyrolyse	Mono- forbrænding	Rådnetank	Rådnetank + pyrolyse	Rådnetank + Mono- forbrænding
Anlægsinvestering						
Driftsøkonomi						
NPV Nutidsværdi						
Energibalance						
CO ₂ eq						
Miljøfremmede stoffer						
Næringsstoffer						
Påvirkning af lokalmiljø						
Arbejds miljø						
Kompleksitet						
Robusthed ved nedklassificering af slam						
Robusthed ved nedgang i slammængder						
Fremtidig regulatorisk udvikling						
Udbygningsmuligheder						

Robusthed og fremtids- sikring

	0	1	2	3	4	5
	Baseline	Pyrolyse	Mono- forbrænding	Rådnetank	Rådnetank + pyrolyse	Rådnetank + Mono- forbrænding
Anlægsinvestering						
Driftsøkonomi						
NPV Nutidsværdi						
Energibalance						
CO ₂ eq						
Miljøfremmede stoffer						
Næringsstoffer						
Påvirkning af lokalmiljø						
Arbejdsmiljø						
Kompleksitet						
Robusthed ved nedklassificering af slam						
Robusthed ved nedgang i slammængder						
Fremtidig regulatorisk udvikling						
Udbygningsmuligheder						

Sammenstilling

	0	1	2	3	4	5
	Baseline	Pyrolyse	Mono-forbrænding	Rådnetank	Rådnetank + pyrolyse	Rådnetank + Mono-forbrænding
Anlægsinvestering	Green	Orange	Orange	Yellow	Red	Red
Driftsøkonomi	Red	Light Green	Light Green	Yellow	Green	Green
NPV Nutidsværdi	Green	Yellow	Yellow	Light Green	Red	Red
Energibalance*	Diagonal (Red/White)	Diagonal (Red/White)	Diagonal (Red/White)	Diagonal (Yellow/White)	Diagonal (Yellow/White)	Diagonal (Yellow/White)
CO ₂ eq	Green	Green	Red	Light Green	Green	Red
Miljøfremmede stoffer	Red	Light Green	Green	Red	Light Green	Green
Næringsstoffer **	Diagonal (Light Green/White)	Diagonal (Yellow/White)	Diagonal (Red/White)	Diagonal (Light Green/White)	Diagonal (Yellow/White)	Diagonal (Red/White)
Påvirkning af lokalmiljø	Light Green	Green	Light Green	Light Green	Orange	Red
Arbejds miljø	Green	Yellow	Yellow	Light Green	Orange	Orange
Kompleksitet	Green	Orange	Yellow	Light Green	Red	Orange
Robusthed ved nedklassificering af slam	Red	Light Green	Green	Orange	Light Green	Green
Robusthed ved nedgang i slammængder	Green	Yellow	Yellow	Light Green	Yellow	Yellow
Fremtidig regulatorisk udvikling	Red	Light Green	Yellow	Yellow	Green	Light Green
Udbygningsmuligheder	Green	Red	Red	Light Green	Orange	Orange

*Øverst: Varme kan udnyttes, Nederst: Varme kan ikke udnyttes

**Øverst: Med høst fra rejktvand, Nederst: Uden høst fra rejktvand

Sammenstilling

Enhed		0	1	2	3	4	5
		Baseline	Pyrolyse	Mono-forbrænding	Rådnetank	Rådnetank + pyrolyse	Rådnetank + Mono-forbrænding
Anlægsinvestering	Mio DKK		+70	+70	+60	+110	+110
Driftsøkonomi	Mio DKK/år	5,5	3,2	2,8	3,8	2,5	2,2
NPV Nutidsværdi	Mio DKK/ 60 år		+100	+87	+68	+177	+166
Energibalance*	MWh/år	-1.100	-1.100	-500	600	900	1.300
CO ₂ eq	ton CO ₂ eq/år	750	700	1.300	850	750	1.250
Miljøfremmede stoffer							
Næringsstoffer**							
Påvirkning af lokalmiljø		13	12	13	13	14	15
Arbejdsmiljø							
Kompleksitet							
Robusthed ved nedklassificering af slam							
Robusthed ved nedgang i slammængder							
Fremtidig regulatorisk udvikling							
Udbygningsmuligheder							

*Øverst: Varme kan udnyttes, Nederst: Varme kan ikke udnyttes

**Øverst: Med høst fra rejktvand, Nederst: Uden høst fra rejktvand

Forudsætninger

En dybdegående beskrivelse af de enkelte forudsætninger, for hver af vurderingskriterierne, kan findes i Bilagsrapporten. Her er oplistet nogle af de vigtigste for forståelsen af sammenstillingen.

- Prisen givet i anlægsinvesteringer, er prisen for de anlægsdele der vil blive påvirket af, hvilket scenarie der vælges for slamhåndteringen. Dette inkluderer forklaringstanke, procestanke, efterklaringstanke, slamhåndteringen og støttesystemer til dette. Prisen er altså ikke dækkende for et komplet nyt renseanlæg, men vurderes at udgøre ca. 70% af en eventuel totalpris. Prisen er overslag.
- I energibalancen er der i opstillingen ikke skelnet til, om det er energi i form af gas, el eller varme. I scenarierne med monoforbrænding er energibalancen positiv, da en stor del af energiproduktionen er i form af varme. Uddybende beregninger findes i bilagsrapporten.
- Under CO₂ beregningerne er der opgjort CO₂, lattergas og metan påvirkninger fra hele processen. Opgørelsen dækker altså over det samlede klimaaftryk for scenariet.
- Ved næringsstoffer er der taget højde for hvordan fosfor, kvælstof og kulstof er mulig at recirkulere tilbage i de pågældende scenarier. Der er ikke vurderet i forhold til anden kulstofudnyttelse som f.eks. biogasproduktion.

Understøttelse af energi- og klimaneutral vandsektor

Den danske vandsektor sigter efter at opnå klimaneutralitet i driftsfasen i 2030.

- Scenarie 3, 4 og 5 vil være de tre scenarier, der bedst understøtter en energineutral vandsektor, da der i disse scenarier produceres energi i form af el og varme fra biogasforbrænding i gasmotor.
- Scenarie 0,1, 3 og 4 vil være de scenarier, der bedst understøtter en klimaneutral vandsektor, da der den endelige slamdisponering i disse scenarier har størst effekt i forhold til positive klimapåvirkninger ved gødningssubstitution og kulstofbinding i jorden.
- Der er ingen af scenarierne der ville kunne blive klimaneutral i sig selv, baseret på poster inkluderet i denne opgørelse. Lattergasemissionen fra procestankene, samt andre direkte emissioner af klimagasser, resulterer i en netto klimapåvirkning der er negativ. Der vil skulle andre tiltag til, såsom skovrejsning og energiproduktion fra varmepumper, solceller, o.l., for at nærme sig klimaneutralitet.
- Efterhånden som den danske strøm får et lavere klimaaftryk ($\text{CO}_2\text{eq} / \text{kWh}$), vil den positive gevinst ved energiproduktion, i forhold til klimaaftryk, blive lavere og lavere.

Følsomhedsanalyse



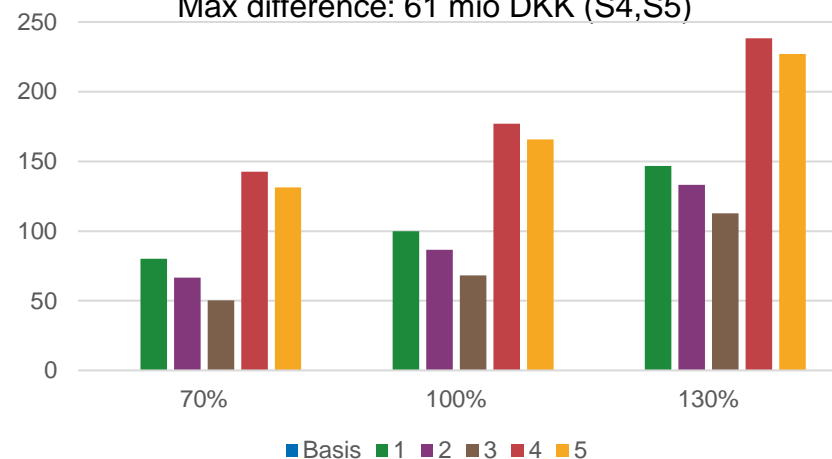
Følsomhedsanalyse (NPV)

- I følsomhedsanalysen er scenarierne testet i forhold til væsentlige ændringer i forudsætningerne. Ved ændringer i de forskellige forudsætninger, ses der den samme tendens af udgifterne mellem scenarierne. Konklusionen er derfor, at forudsætningerne er stærke, og følsomheden for ændringer er lav.
- Der er testet for seks forskellige ændringer forudsætningerne
 - Anlægsomkostningerne er 30% højere/mindre en antaget
 - Levetiden af pyrolyse/monoforbrændingsanlæg er 10 år i stedet for de antagede 20 år
 - Salgsprisen på el er enten 0,165 eller 1,50 kr/kWh
 - Salgsprisen på varme er enten 0,308 eller 0,103 kr/kWh
 - Bortskaffelsen af biokul er enten en indtægt på 270 kr/ton, eller en udgift på 90 eller 450 kr/t
 - Bortskaffelsen af aske er en udgift på enten 495 eller 5000 kr/ton

Følsomhedsanalyse (NPV)

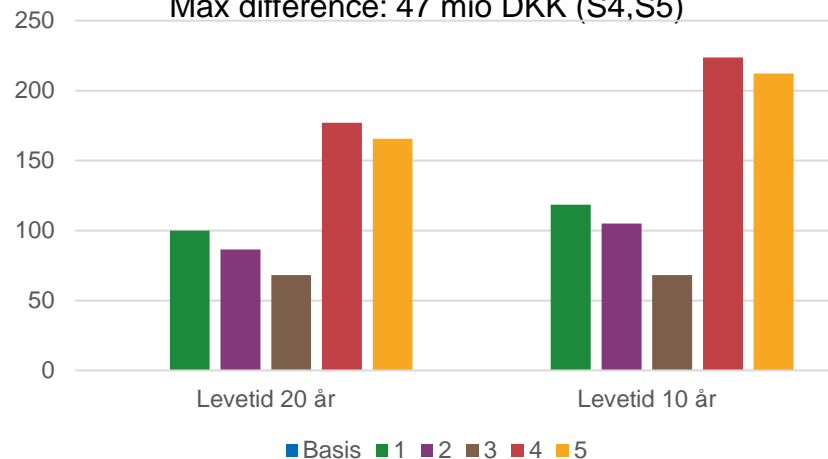
Anlægsomkostning

Max difference: 61 mio DKK (S4,S5)



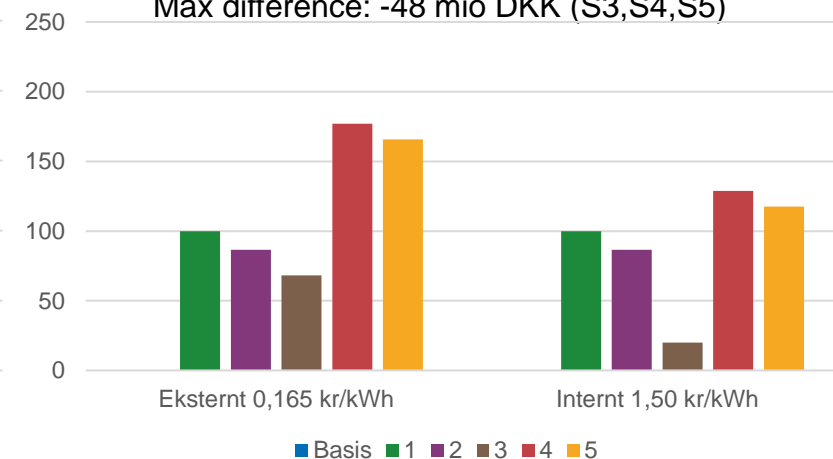
Reinvestering pyrolyse/forbrænding

Max difference: 47 mio DKK (S4,S5)



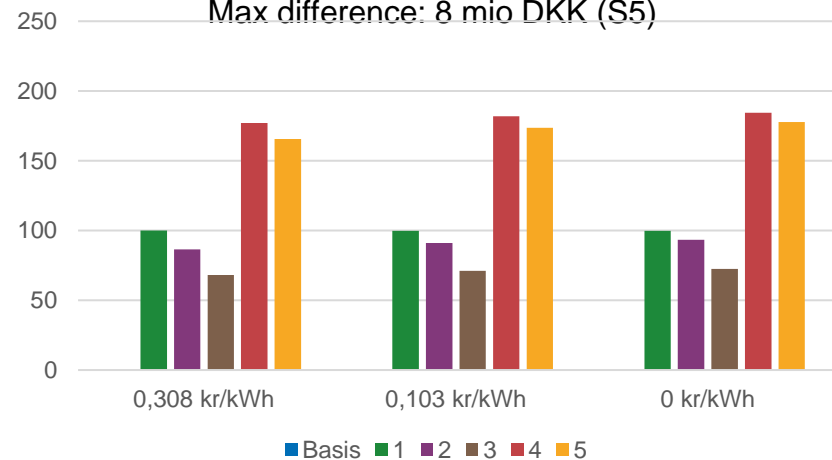
EI, salgspris

Max difference: -48 mio DKK (S3,S4,S5)



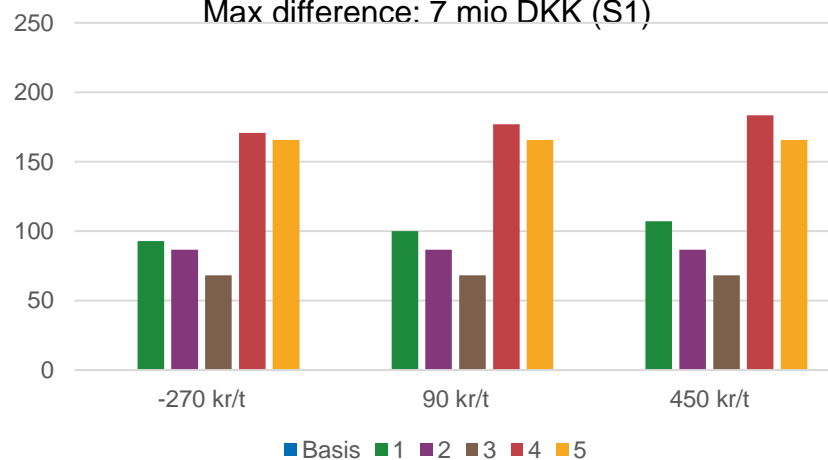
Varme, salgspris

Max difference: 8 mio DKK (S5)



Biokoks, bortskaffelse

Max difference: 7 mio DKK (S1)



Aske, bortskaffelse

Max difference: 69 mio DKK (S2)

