
deponet

**Recirkulering af perkolat:
Vidensopsamling**

November 2018



 Danish Waste Solutions
Waste - Resources - Environment

og

Knox Associates (UK) Ltd

Recirkulering af perkolat: Vidensopsamling

Udarbejdet for: DepoNet

Af: Danish Waste Solutions ApS

Agern Allé 3
DK-2970 Hørsholm
Denmark

Telefon: (+45) 21 25 33 20

Email: oh@danws.dk

og

Knox Associates (UK) Ltd.

Barnston Lodge
50 Lucknow Avenue
Mapperley Park
Nottingham
NG3 5BB United Kingdom

Telefon: (+44) 0115 962 0866

Email: keith.knox@knox.co.uk

Forfattere: Keith Knox, Knox Associates (UK) Ltd.
Ole Hjelmar, Danish Waste Solutions ApS
Richard P. Beaven, Southampton University, UK
René Møller Rosendal, Danish Waste Solutions ApS

Oversat fra *Recirculation of leachate – Collection of knowledge (December 2017)*
af Ole Hjelmar, Danish Waste Solutions ApS

Dato: 15. november 2018

Indhold

Side

Sammenfatning.....	i - v
1. Indledning.....	1
1.1 Baggrund	1
1.2 Formål.....	1
1.3 Fremgangsmåde.....	1
2. Koncept og praktiske forhold vedrørende recirkulering af perkolat	2 - 11
2.1 Formål, tilstræbte og forventede resultater af recirkulering.....	2
2.2 Generel perkolathåndtering og anvendelse af recirkulering af perkolat	3
2.3 Definition(er) af recirkulering af perkolat og recirkulationssystemer.....	4
2.4 Konceptuelle procesbeskrivelser	5
2.5 Tekniske overvejelser og udfordringer.....	6
2.6 Miljø- og lovgivningsmæssige overvejelser	7
2.7 Succeskriterier og monitoring af recirkulering	8
3. Praktiske erfaringer med recirkulering af perkolat	12 - 33
3.1 Metode og baggrund.....	12
3.2 Erfaringer med recirkulering af perkolat i United Kingdom.....	12
3.3 Erfaringer med recirkulering af perkolat i andre lande.....	14
3.4 Erfaringer med recirkulering af perkolat i Danmark.....	17
3.4.1 Tidlige erfaringer (Uggeløse losseplads)	17
3.4.2 Oversigt over nyere og aktuelle erfaringer med recirkulering af perkolat	18
3.4.3 Miljøcenter Gerringe	18
3.4.4 Reno Djurs I/S	19
3.4.5 Arwos Deponi	20
3.4.6 Randers Affaldsterminal	21
3.4.7 Odense Nord Miljøcenter	21
3.4.8 Summary of Danish leachate recirculation experiences	21
3.4.9 Danske deponeringsanlæg med recirkulering, som ikke indgik i gennemgangen....	24
3.5 Sammenligning af de opnåede recirkuleringshastigheder.....	21
4. Diskussion.....	34 - 42
4.1 Del 1: Forhold til overvejelse med henblik på diskussion	34
4.2 Del 2: Forhold, som der blev fokuseret på under gruppediskussionen	36
5. Mulige tiltag og yderligere undersøgelser, som dette projekt og den efterfølgende diskussion kan give anledning til	43 - 44
5. Referencer	45 - 47

Bilag

Bilag 1: Recirkulering ved Miljøcenter Gerringe.....	49
Bilag 2: Recirkulering ved Reno Djurs' deponeringsanlæg ved Glatved	59
Bilag 3: Recirkulering af perkolat på Arwos deponi ved Sdr. Hostrup	71
Bilag 4: Recirkulering på deponeringsanlægget ved Randers Affaldsterminal.....	81
Bilag 5: Recirkulering ved Odense Nord Miljøcenter	91

Forfatterne vil gerne takke specielt følgende personer for deres meget venlige og hjælpsomme bidrag til indsamlingen af information og data til dette projekt:

Susanne Bidstrup Andersen, REFA I/S

Henrik Rolsted og Peter Lindequist Madsen, Reno Djurs I/S

Paul Rygaard, Arwos Deponi

Jørgen Niemann Jensen, Søren Kristiansen and Knud Birch Kristensen, Randers Affaldsterminal

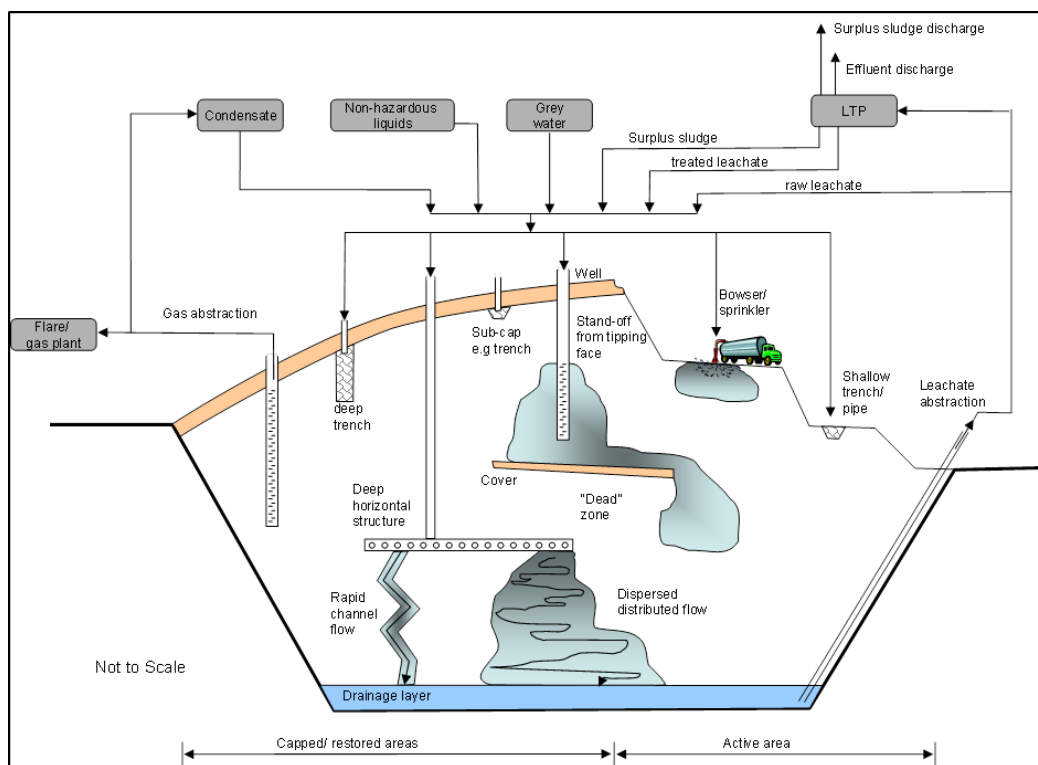
Rasmus Olsen, Odense Renovation A/S

Sammenfatning

Recirkulering af perkolat ved deponeringsanlæg har været udbredt siden 1970'erne, ikke mindst i Storbritannien, USA og Frankrig, men også i et vist omfang i Danmark siden 1980'erne. Hovedformålet har været at håndtere perkolatmængden og sæsonvariationer i denne (specielt maks-flow), at accelerere nedbrydningen af organiske affaldskomponenter (og stimulere gasproduktionen), og at håndtere perkolatkvaliteten. I nyere tid er man desuden blevet interesseret i den rolle, som recirkulering vil kunne spille ved at bidrage til at forkorte efterbehandlingstiden for afsluttede deponeringsanlæg. Gennem de seneste år har flere danske deponeringsanlæg vist interesse for at recirkulere perkolat (nogle gør det allerede), og Miljøstyrelsen har modtaget nye ansøgninger om tilladelse til recirkulering af perkolat. Imidlertid er det ikke klart, hvorledes recirkulering af perkolat kan påvirke forholdene i en deponeringsenhed på kort og langt sigt. DepoNet har derfor iværksat det udredningsprojekt, som hermed foreligger, med det hovedformål at indsamle og behandle information om og erfaringer med tekniske og miljømæssige aspekter af recirkulering af perkolat ved deponeringsanlæg. Udredningen fokuserer på de vigtigste tekniske og miljømæssige aspekter af recirkulering af perkolat og opsummerer den eksisterende viden om hvert emne og dets betydning. Udredningen behandler endvidere forhold, som giver anledning til usikkerhed og bekymring både for anlægsoperatører og myndigheder.

Meget af det materiale, som er denne udredning bygger på, stammer fra to hovedkilder, nemlig en teknisk udredning, som er udført for den overordnede deponeringsmyndighed i Storbritannien, UK Environment Agency, (Beaven et al, 2009), og fra et beslutningsværktøj, som er udviklet ved University of Southampton (LANDSS). Dette er blevet suppleret gennem undersøgelse af litteratur om recirkulering publiceret siden udredningen fra 2009, og indsamling og vurdering af specifik information om hvorledes recirkulering praktiseres/praktiseredes ved seks deponeringsanlæg i Danmark.

Den generelle praksis og anvendelse af recirkulering af perkolat er illustreret i nedenstående figur (fra Beaven et al, 2009), som viser de vigtigste fysiske elementer af perkolatrecirkuleringssystemer.



Det er vigtigt at bemærke, at den fysiske aktivitet og infrastruktur skal ses som blot en af tre essentielle komponenter af et perkolatrecirkuleringssystem, som bør omfatte hvert af følgende elementer:

- **Konceptuelt design:** baseret på en klar forståelse af formålet med og anvendelsesområdet for et recirkuleringsprojekt samt en forståelse af, hvad infrastrukturen skal opfylde i den forbindelse.
- **Fysisk infrastruktur:** ingeniørmæssigt design; installation; drift and vedligeholdelse.
- **Monitering** af præstation/målopfyldelse og miljømæssige effekter.

Praktiske erfaringer såvel som vanskeligheder mødt i forbindelse med forskellige udformninger af recirkulering i Storbritannien og andre lande er diskuteret og opsummeret i en tabel med specielt fokus på injektions- eller recirkulationshastigheder for perkolat ved forskellige typer af infrastruktur.

En del af den information, som er indsamlet fra de seks danske deponeringsanlæg, er opsummeret i nedenstående tabel.

Deponeeringsanlæg	Periode	Type af recirkulering	Metode	Formål	Opnåede mål	Udfordringer
Uggeløse	1983 – 1984	Inkluderer perkolat fra andre enheder*	Nedgravede horisontale rør	Forbehandling af ungt perkolat	Reduktion af BI ₅ – ingen denitrifikation (faktisk det modsatte)	-
Gerringe	1993 → (fra maj til og med sep.)	Perkolat fra samme enhed	Sprinkleranlæg	Fordeling af perkolatudledning på perioden oktober til og med april – fjernelse af ammoniak	Begge formål opfyldt	Ingen udfordringer er rapporteret – der sprinkles ikke perkolat om natten eller i stærk vind
Reno Djurs	2012 →	Inkluderer perkolat fra andre enheder	Sprinkleranordninger og åbne grøfter	Opnåelse af optimalt vandindhold i affaldet og reduktion af efterbehandlingsperioden	Det gennemsnitlige vandindhold svarer til feltkapaciteten, det kan ikke vurderes, om efterbehandlingstiden vil blive reduceret	Ingen alvorlige udfordringer er rapporteret - forskellige forholdsregler er taget
Arwos	2014 →	Inkluderer perkolat fra andre enheder*	Nedgravede horisontale drænrør og sprinkleranordning	Forbedret perkolat-håndtering – reduktion af perkolatmængden til behandling på rensningsanlæg	Reduction of the volume of leachate for treatment not documented	Tilstopning af filtre pga. partikelindhold i perkolatet – et mindre jordskred på en skråning pga. udstrømmende perkolat - forholdsregler er taget
Randers	2011 →	Inkluderer perkolat fra andre enheder*	Vertikale injektionsboringer og nedgravede horisontale drænrør	Forøgelse af vandindholdet i affaldet med henblik på forøget gasproduktion og reduktion af perkolatmængden til behandling på	Hverken forøgelse af gasproduktionen eller reduktion af perkolatmængden til rensningsanlæg kan dokumenteres på nuværende tids-	Perkolatudbrud på skråning, kanaldannelser mellem drænrør og udløbsbrønd

Deponeringsanlæg	Periode	Type af recirkulering	Metode	Formål	Opnåede mål	Udfordringer
				rensingsanlæg	punkt	
Odense Nord	2016 →	Perkolat fra samme enhed	Indskudte horisontale perforerede gasopsamlingsrør	Forsøg med henblik på at undersøge, om inaktive gasopsamlingsrør kan anvendes til recirkulering af perkolat	Forsøget pågår	Ingen alvorlige udfordringer er rapporteret

*: Det recirkulerede perkolat kommer fra forskellige enheder, men alle er enheder for blandet affald.

På grundlag af gennemgangen ser recirkuleringen af perkolat på de danske deponeringsanlæg ikke umiddelbart ud til at have givet anledning til væsentlige miljømæssige problemer. Selv i det tilfælde, hvor der skete et jordskred, blev dette hurtigt håndteret, og der blev taget forholdsregler til at forhindre gentagelser. Sammenlignet med internationale erfaringer ligger de danske recirkulationshastigheder for perkolat inden for det generelle variationsinterval, men i den høje ende af dette. Dette skyldes formentlig, at de fleste danske deponeringsanlæg er forholdsvis små set i international målestok. Der er dog plads til forbedringer og behov for afklaring omkring forhold, som giver anledning til usikkerhed, både for operatører og for myndigheder i relation til recirkulering af perkolat.

Resultaterne af udredningen af internationale erfaringer og erfaringer på danske deponeringsanlæg med recirkulering af perkolat blev præsenteret og diskuteret på et møde i DepoNet, hvor også Miljøstyrelsens Tilsynsenhed var til stede og fremlagde deres synspunkter. På grundlag af diskussionen og de fremlagte synspunkter/bekymringer, er følgende forhold efterfølgende blevet yderligere behandlet:

- Effekten af recirkulering på perkolat kvaliteten
- Effekten af recirkulering på perkolathøjden over bundmembranen og muligheden for at kontrollere denne
- Eventuel forøget risiko for tilstopning af drænlagerne som følge af recirkulering

Rapporten omfatter en diskussion af disse forhold og en række tekniske aspekter af hvert af dem.

Der er identificeret seks forskellige måder, hvorpå recirkulering af perkolat potentielt kan påvirke **perkolat kvaliteten**, både i positiv og negativ retning. Der blev ikke ved udredningen fundet klare beviser på negative effekter, men tilsvarende mangler der klare beviser på, at sådanne effekter ikke vil kunne forekomme. Det diskuteres, hvorledes disse forhold kan belyses yderligere.

Vedrørende **perkolathøjden og kontrollen med denne** er der ved udredningen ikke fundet nogen generelle beviser for forøget perkolathøjde som følge af recirkulering af perkolat. Der har dog for ca. 10 år siden været et tilfælde med for sent opdaget stigende perkolathøjde ved en dansk deponeringsenhed med recirkulering (problemet blev løst ved etablering af bedre overvågning). I diskussionen sandsynliggøres det, at stigninger i perkolathøjden som følge af recirkulering af perkolat under danske forhold generelt må antages at ske så langsomt, at det ikke vil være nødvendigt med kontinuerlig monitoring.

Vedrørende **risikoen for tilstopning** som følge af recirkulering af perkolat bemærkes det, at der kan ske en betydelig reduktion af porøsitet og transmissivitet af de fleste drænlag, før der en funktionsnedsættelse vil kunne konstateres. Dette skyldes, at drænlag generelt dimensioneres med en meget stor overskudskapacitet. Udredningen viser, at der ikke er væsentlige indikationer af, i hvilket omfang og med hvilken hastighed drænlag kan miste porøsitet. Faktorer, som må forventes at kunne have indflydelse på reduktion af porøsiteten af drænlag diskuteres, og der gives forslag til undersøgelser, som formentlig kunne belyse dette aspekt.

På grundlag af resultaterne af udredningen, diskussionen i DepoNet og den efterfølgende behandling af denne kan der opstilles følgende forslag til mulige tiltag og videre undersøgelser af forhold vedrørende recirkulering af perkolat:

- Der er behov for yderligere overvejelser omkring de påvirkninger af perkolatkvaliteten, som recirkulering af perkolat kan give anledning til: Dette kunne omfatte mere detaljerede undersøgelser og fortolkninger af eksisterende data, akkumulering af længere og mere omfattende datasæt (tidsserier), og eventuelt gennemførelse af lysimeterforsøg i pilotskala. Konsekvenserne af at blande forskellige typer perkolat og af at recirkulere perkolat fra én type affald til en deponeringsenhed med en anden type affald vil muligvis kunne undersøges ved hjælp af hydrogeokemisk modellering. Indsamlede data som de ovennævnte vil også kunne anvendes til vurdering af de usikkerheder, som er knyttet til såvel vandbalancer som massebalancer.
- Det kunne være hensigtsmæssigt at gennemføre massebalancer for at fastlægge, hvor meget af perkolatet fra en deponeringsenhed, som modtager recirkuleret perkolat, eller hvor meget af den totale tilførsel af perkolat til en central samletank, hvorfra perkolatet recirkuleres, der bør bortpumpes og behandles ("blødes" fra recirkuleringen), for at optimere opnåelsen af formålene med recirkuleringen og sikre, at stofkoncentrationerne i det bortpumpede perkolat overholder de krav, som behandlingsanlægget måtte stille. Sådanne massebalancer kunne kombineres med speciering baseret på den ovenfor nævnte hydrogeokemiske modellering.
- Det ville være hensigtsmæssigt at overveje i hvilket omfang monitoring og fortolkning af data kan anvendes til at sikre, at stigninger i COD og BI5 (forårsaget af accelereret udvaskning af acetogent perkolat fra de øvre affaldslag) forbliver indenfor håndterbare grænser.
- Det kan være nyttigt på overslagsniveau at modellere konsekvenserne af forskellige frigivelseshastigheder for stoffer til perkolatet i relation til forskellige gennemstrømnings- eller udvaskningsstrategier. Formålet skulle være at afgøre, om accelereret frigivelse af forurenende stoffer til perkolatet vil forlænge eller forkorte efterbehandlingsperioden. Sådanne overslagsberegninger vil kunne indikere, om mere detaljeret modellering og/eller praktiske forsøg eller feltundersøgelser med dette formål ville være nødvendige.
- Det kunne være hensigtsmæssigt at foretage en nøjere undersøgelse af perkolathøjden i danske deponeringsenheder med recirkulering, inklusive hvordan, hvor og hvor ofte perkolathøjden måles i individueller recirkuleringsenheder.
- Det er måske muligt yderligere at undersøge responshastigheden af hydraulisk tryk (perkolathøjde) i forhold til recirkulering af perkolat med henblik på at belyse, om kontinuerlig monitoring af perkolathøjden vil være hensigtsmæssig. Dette kunne for eksempel omfatte perioder med intensiv manuel monitoring efterfulgt af en midlertidig afbrydelse af recirkuleringen, hvor afdræningsforløbet følges, hvorefter recirkulering og intensiv monitoring af perkolathøjden genoptages.

- Det kunne være hensigtsmæssigt at undersøge nogle scenarier med eksempler på disse maksimale fluxforhold og specifikationer på transmissivitet af drænlag med henblik på at estimere, hvor stort et ekstra "frirum" der rent faktisk vil være i den projekterede transmissivitet til at håndtere den ekstra flux under recirkulering og samtidig sikre kontrol med perkolathøjden.
- Det kunne overvejes, om og i givet fald hvorledes (ikke et trivielt problem) monitoring kan anvendes til at afgøre, om recirkulering i en given situation resulterer i en forøget flux af nedbrydeligt COD og calcium til drænlagene (begge vil forværre tilstopningen).
- Det kunne være hensigtsmæssigt at undersøge, hvilke teknikker, der vil være anvendelige til at undersøge og kvantificere eventuelle tilfælde af reduceret transmissivitet af drænlagene, og til at undersøge udviklingen af lokale område i drænlagene, hvor tilstopning pågår.
- I de tilfælde, hvor det er praktisk muligt, kunne det overvejes at fastholde en lidt forøget perkolathøjde i drænlagene, således at de disse holdes i mættet tilstand, og methanogenese og udfældning af calciumkarbonat vil ske i de overliggende affaldslag frem for i drænlaget, hvorved potential for tilstopning reduceres. Mættede forhold i drænsystemet eller etablering af en vandlås vil desuden kunne medvirke til at forhindre udfældning af calciumkarbonat fra alkalisk perkolat fra højtemperaturaffald.

1. Indledning

1.1 Baggrund

Recirkulering af perkolat ved deponeringsanlæg har været udbredt siden 1970'erne, ikke mindst i Storbritannien, USA og Frankrig, men også i et vist omfang i Danmark siden 1980'erne. I nyere tid er man desuden blevet interesseret i den rolle, som recirkulering vil kunne spille ved at bidrage til at forkorte efterbehandlingstiden for afsluttede deponeringsanlæg. Danish Waste Solutions og Knox Associates har for DepoNet foretaget nærværende udredning af den nuværende situation med hensyn til recirkulering af perkolat og dens rolle i efterbehandlingen af deponeringsanlæg.

1.2 Formål

Hovedformålet med denne udredning har været at indsamle og behandle information om og erfaringer med tekniske og miljømæssige aspekter af recirkulering af perkolat ved deponeringsanlæg. Udredningen fokuserer på de vigtigste tekniske og miljømæssige aspekter af recirkulering af perkolat og opsummerer den eksisterende viden om hvert emne og dets betydning. Udredningen skal endvidere i videst mulige omfang synliggøre og behandle forhold, som giver anledning til usikkerhed og bekymring både for anlægsoperatører og myndigheder.

1.3 Fremgangsmåde

Meget af det materiale, som denne udredning bygger på, stammer fra to hovedkilder, nemlig en teknisk udredning, som er udført for den overordnede deponeringsmyndighed i Storbritannien, UK Environment Agency, (Beaven et al, 2009), og fra et beslutningsværktøj, som er udviklet ved University of Southampton (LANDSS). Dette er blevet suppleret gennem undersøgelse af litteratur om recirkulering publiceret siden udredningen fra 2009, og indsamling og vurdering af specifik information om hvorledes recirkulering praktiseres/praktiseredes ved seks deponeringsanlæg i Danmark. Operatørerne af fem danske deponeringsanlæg, som i dag recirkulerer perkolat, og som er indgået i udredningsarbejdet, har været meget hjælpsomme med hensyn til fremskaffelse af information.

2. Koncept og praktiske forhold vedrørende recirkulering af perkolat

2.1 Formål, tilstræbte og forventede resultater af recirkulering

Recirkulering af perkolat er blevet anvendt med en række formål. Mange af disse har størst relevans for deponeringsenheder, som modtager bionedbrydeligt organisk affald. De oftest forekommende anvendelser har været:

- **Håndtering af perkolatvolumener og sæsonvariationer af disse**
 - (i) Reduktion af nettoproduktionen af perkolat gennem udnyttelse af absorptionskapaciteten af tørt affald.
 - (ii) Håndtering af sæson- og korttidsvariationer i perkolatproduktionen gennem udjævning af spidsbelastninger i den langsomme transiente gennemstrømning ned gennem affaldet.
- **Accelerering af nedbrydningen af organiske affaldskomponenter**
 - (i) Forøgelse af affaldets vandindhold med henblik på at øge produktionen af gas og dermed indtægterne fra eksport af elektricitet.
 - (ii) Accelerering af udviklingen mod afslutningen af efterbehandlingen og de tilhørende omkostninger til monitoring og håndtering af perkolat og gas.
 - (iii) Accelerering af sætninger i affaldet med henblik på at forøge deponeringskapaciteten mens deponeringsanlægget stadig er i drift.
 - (iv) Accelerering af sætninger i affaldet efter afslutning af deponeringen og dermed accelerering af udviklingen mod afslutningen af efterbehandlingsperioden.
- **Håndtering af perkolatkvalitet**
 - (i) Omdannelse af acetogent perkolat til methanogent perkolat gennem recirkulering af perkolat med højt indhold af COD fra enheder i drift til affald i den methanogene fase i tidligere opfyldte enheder. Herved kan man undgå at skulle behandle acetogent perkolat i rensningsanlæg beregnet til behandling af methanogent perkolat.
 - (ii) Podning af de nederste drænlag i nye enheder med henblik på at fremme udviklingen af methanogene forhold, hvilket kan (i) beskytte de nederste drænlag mod tilstopning (som følge af længere tids eksponering til acetogent perkolat og (ii) minimere indholdet af COD, som skal fjernes i rensningsanlæg.
- **Vanding af phytodækkede (beplantede) overdækninger**

Generelt begrænset til at omfatte mindre forurenede perkolat med lav salinitet af hensyn planternes salttolerance og for at undgå skader på jordstrukturen, om end nogle operatører har investeret i mere salttolerante plantetyper. Denne fremgangsmåde kan dels hjælpe med bortskaffelse af perkolat, dels bidrage med tilførsel af vand og næringsstoffer til understøttelse af biomasseafgrøder.
- **Støvkontrol**

Sandsynligvis begrænset til mindre forurenede perkolat og/eller anvendelse på områder i deponeringsfasen, så der ikke er risiko for afløb af forurenede perkolat til overfladevand uden for deponeringsanlægget.

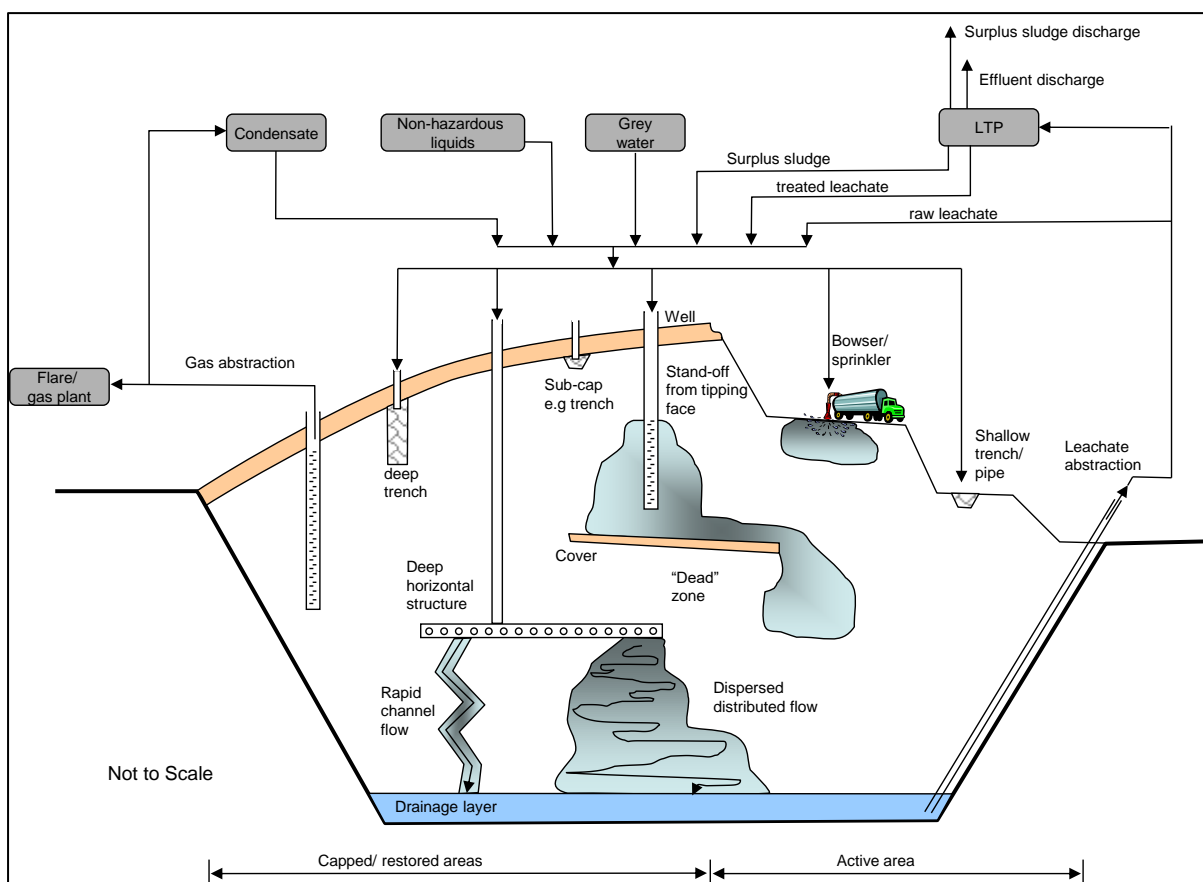
- **Brandkontrol/reduktion af forhøjede temperaturer**

Injektion af perkolat har været anvendt til at sænke temperaturen af "hot spots" i deponeret affald og til hjælp til slukning af brande inde i deponeret affald.

Det har også været diskuteret at anvende recirkulering af perkolat til at udvaske og fjerne forurenende stoffer fra det deponerede affald med henblik på at forkorte efterbehandlingsperioden. Dette ser dog ikke ud til at have været praktiseret endnu i fuld skala i udlandet. I nogle forskningsprojekter har man undersøgt re-injektion af nitrificeret perkolat fra perkolatbehandlingsanlæg med henblik på (i) denitrifikation med affaldet som kulstofkilde og (ii) udvaskning af yderligere tilbageværende ammonium-N. Dette synes heller ikke at have været bredt anvendt i fuld skala (se dog omtalen af recirkulering på deponeringsanlægget på Miljøcenter Gerringe i Bilag 1, hvor det ser ud til, at der opnås en lignende effekt).

2.2 Generel perkolathåndtering og anvendelse af recirkulering af perkolat

Figur 2.1, som er gengivet fra Beaven et al (2009), illustrerer de væsentligste fysiske komponenter, som indgår i et system for recirkulering af perkolat.



Figur 2.1 Principskitse, der viser de væsentligste elementer i systemer til recirkulering af perkolat. LTP = perkolatbehandlingsanlæg (Leachate Treatment Plant).

Oppumpning, transport, opbevaring/opsamling og eventuelt forbehandling er standardelementer i perkolathåndteringen ved de fleste deponeringsanlæg. Recirkulering af perkolat indeholder disse

elementer samt yderligere infrastrukturer til at genindføre perkolatet i affaldsmassen. Typiske systemer til genindførelse/re-introduktion af perkolat i affaldet omfatter følgende (Beaven et al, 2009):

- **Lavtrykssystemer på overfladen**, for eksempel vandvogn, sprinklersystem til vanding med perkolat på affaldet under deponering eller på overdækningen efter afslutning, åbne grøfter eller "søer" i overfladen af affaldet og rør med åben ende udlagt på overfladen af affaldet.
- **Systemer umiddelbart under topafdækningen**, for eksempel lineære (tildækkede) grøfter fyldt med ituskårne bildæk eller sten og perforerede rør i grøfter fyldt med drænmateriale.
- **Dybereliggende horisontale systemer i affaldet** (dvs. indbygget under opfyldningen), for eksempel "blæksprutter" bestående af horisontale rør/drænrør, som er forbundet radiale til en central brønd eller et centralt lodret tilløbsrør og horisontale rør eller drængrøfter med vertikale tilløbsrør eller skrånede tilløbsrør, der følger enhedens sider.
- **Dybereliggende "fordelingspuder" af drænmateriale** (indbygget under opfyldningen), for eksempel rektangulære puder fyldt med drænmateriale (ofte hele eller ituskårne bildæk): konstruktionen kan variere fra et gittermønster af mindre (f.eks. 1m x 1m) puder af drænmateriale med individuelle tilløbsrør forbundet til en central perkolatforsyningsbrønd, til enkelte store fordelingspuder af bildæk, som er flere gange 10 m i hver retning og måske 2 m tykke med et enkelt vertikalt tilløbsrør.
- **Dybereliggende bånddræn** (indbygget under opfyldningen). Der er tale om vertikale "drænsokker" af geotekstil som omslutter flade bånd af korrugeret plast (også kendt som præfabrikerede vertikale dræn, PVD'er), som "bankes" ned til den ønskede dybde. I et tilfælde placeredes disse for hver meter i centrene af et 40m x 40m gitter skiftevis til dybder på 5m, 10m og 15m (Beaven et al, 2009). Den midlertidige overflade med de åbne øvre ender af PVD'erne overdækkes så med en pude af drænmateriale med henblik på at fordele tilført perkolat jævnt over hele arealet. Derefter forsætter indfyldningen af affald oven på systemet. Tilførslen af perkolat til drænpuden sker via et vertikalt rør fra overfladen af deponeringsenheden.
- **Vertikale borer**. Eksempler omfatter brug af eksisterende perkolatoppumpnings- og monitoringsboringer og gasboringer og borer med stor diameter, men af ringe dybde, med eller uden radiale, horisontale tilløbsrør. Som et alternativ har nogle operatører og forskere anvendt vertikale drænrør "banket" ned til 5 til 10 meters dybde, typisk placeret med indbyrdes afstande på 20m eller mindre. Andre har anvendt grupper af borer med filterrør af mindre diameter til forskellige dybder.

2.3 Definition(er) af recirkulering af perkolat og recirkulationssystemer

I sin simpleste form betegner recirkulering af perkolat tilbageførsel af perkolat til den deponeringsenhed, hvorfra det blev opsamlet/oppumpet. I mange tilfælde (f.eks. ved bioreaktordeponier) er denne definition imidlertid blevet fortolket bredere til også at omfatte forbehandlet perkolat, overførsel af perkolat mellem enheder eller faser, og import eller anvendelse af perkolat eller andre væsker, herunder overfladeafløbsvand, husspildevand eller ligefrem andre typer vandigt affald.

Det er vigtigt at bemærke, at de fysiske aktiviteter og infrastrukturen skal ses som blot én af de tre nedenstående essentielle komponenter af et system til recirkulering af perkolat:

- **Konceptuelt procesdesign:** baseret på en klar forståelse af formål og rammer for projektet og af, hvad infrastrukturen skal kunne præstere.
- **Fysisk infrastruktur:** ingeniørmæssig projektering, installering, drift og vedligeholdelse.
- **Monitering** af opfyldelse af formål og miljømæssige aspekter/påvirkninger.

2.4 Konceptuelle procesbeskrivelser

Beaven et al (2009) understregede vigtigheden af dette som et første trin: de bemærkede, at konceptuelle procesbeskrivelser ofte er blevet forsømt i forbindelse med fuldskala-anvendelser af recirkulering af perkolat, hvor mange af aktiviteterne mere eller mindre er blevet udført ad hoc. De præsenterede adskillige eksempler, der viste hvilken skala af fysisk infrastruktur og hvilke mængder recirkuleret perkolat, som sandsynligvis ville være nødvendige i forhold til forskellige formål med recirkuleringen. De observerede samtidig, at de recirkulerede perkolatmængder i mange fuldskala-eksempler så ud til at ligge væsentligt under de mængder, som en konceptuel konceptbeskrivelse ville indikere som nødvendige.

Eksempler, der illustrerer dette aspekt, er hentet fra Beaven et al (2009) og LANDSS og opsummeret i Tabellerne 2.1 til 2.3. De perkolatvolumener, som nødvendige til forskellige formål, kan variere fra 5 liter/ton affald op til 3.000 liter/ton affald. Dette understreger vigtigheden af gennemføre den konceptuelle procesbeskrivelse, før man starter på infrastrukturen.

Tabel 2.1: Eksempel 1: Estimat af recirkuleringsskala og systemkrav for udjævning af sæsonsvingninger for en deponeringsenhed i UK på 5 ha indeholdende 1 M ton affald.

Bekrivelse	Værdi	Enhed
Overskudsnedbør (vinter) ud over bortledningskapaciteten	100 - 200	mm
Utildækket eller utilstrækkeligt tildækket areal, som genererer overskudsinfiltation	5 50.000	ha m ²
∴ Mængde af overskudspokolat, som skal recirkuleres	5.000 – 10.000	m ³
Periode, hvor der forekommer vinteroverskud af perkolat	100	dage
Gennemsnitlig nødvendig recirkulationshastighed	50 - 100	m ³ /dag
Gennemsnitlig arealbaseret recirkulationshastighed	10 - 20	m ³ /ha/d

Tabel 2.2: Eksempel 2: Recirkulationsskala og krav til systemydelse ved stimulering af gasproduktionen.

Beskrivelse	Værdi	Enhed
Andel af affaldsmængden, som ønskes befugtet	90	%
Foreslået forøgelse af vandindholdet i den berørte zone	10 - 20	% af våd vægt
Mængde af affald i den berørte zone	10 ⁶	tons
∴ Nødvendig vandmængde	90.000 – 180.000	m ³
Periode, inden for hvilken den ønskede forøgelse i vandindhold skal opnås	2	år
∴ Gennemsnitlig nødvendig recirkulations- eller vandtilsætningshastighed	45,000 - 90,000 123 - 246	m ³ /år m ³ /dag
Areal af den berørte zone af deponeringsenheden	10	ha

Beskrivelse	Værdi	Enhed
∴ Gennemsnitlig arealbaseret recirkulationshastighed over den berørte zone	12,3 – 24,6	m ³ /ha/dag

Tabel 2.3: Eksempel 3: Behov for perkolat-/vandmængder og krav til systemydelse ved recirkulering/injektion med henblik på udvaskning/udskylning af forurenende stoffer (her NH₄-N) fra deponeret affald.

Beskrivelse	Værdi	Enhed
Antaget affaldsmængde i enheden	1 x 10 ⁶	tons
Antaget massefylde af affaldet i deponeringsenheden	1	tons/m ³
Antaget maksimalt overfladeareal af affaldet	5	ha
Nødvendig fortynding for at NH ₄ -N kan overholde krav	1.000	faktor
Nødvendig gennemskylning angivet som antal porevolumener, under antagelse af eksponentielt aftagende opførsel, estimeret til 2,3 porevolumener per størrelsesorden (dekade)	6,9	porevolumener
Antaget gennemsnitligt vandindhold i in-situ affaldet	40	% vol/vol
∴ Samlet porevolumen af affaldet i deponeringsenheden	400.000	m ³
∴ Nødvendigt gennemskylningsvolumen	~2,76 x 10 ⁶	m ³
Nødvendigt gennemskylningsvolumen per ton affald	~2,8	m ³ /t
Antaget tidsramme for at nå målkonzentrationen for NH ₄ -N i perkolatet fra deponeringsenheden	30	år
∴ Nødvendig årlig gennemskylningsmængde	92.000	m ³ /år
Nødvendig arealbaseret gennemskylningshastighed over hele deponeringsarealet	1,84	m/år
	5,04	mm/dag
	1840	mm/år
	5,8 x 10 ⁻⁸	m/s
∴ Nødvendig samlet arealbaseret recirkulations-/injektionsmængde	50,4	m ³ /ha/dag

2.5 Tekniske overvejelser og udfordringer

Hjemmesiden LANDSS identificerer og kommenterer nogle af de væsentligste driftsmæssige forhold i forbindelse med recirkulering af perkolat:

Tilstopning af infrastrukturen til injektion af perkolat

Der findes kun begrænset kvantitativ information om dette problem, men tilstopning af perkolattilførsels-/fordelingssystemer ser ud til at kunne ske i løbet af få uger, hvis det tilførte perkolat er aceto-gen, så tiltag til at forhindre eller minimere dette er vigtige.

Oversvømmelse af gasboringer

Lokal oversvømmelse af gasboringer er blevet identificeret som en ofte forekommende konsekvens af recirkulering af perkolat. Periodiske pauser i tilførslen af perkolat til fordelingsinfrastrukturen ser ud til at være den bedste metode til at reducere de gener, som oversvømmelse af gasboringer medfører. Metoden anvendes rutinemæssigt af nogle operatører og er også omtalt i litteraturen.

Effekter af sætninger

Mange operatører har oplevet problemer med brud af horisontale og radiale rørføringer, som kan tilskrives sætninger i affaldet. Sætninger i deponeret affald med væsentlige mængder organisk nedbrydeligt affald vil være signifikante og kan blive yderligere forstærket i områder, hvortil der recirkuleres perkolat. Nogle typer infrastruktur vil bedre kunne modstå effekterne af sætninger (f.eks. puder af drænmateriale, bånddræn/PVD'er og overfladebaserede systemer) end andre (f.eks. nogle horisontale drænrørssystemer under overfladen).

Tilstopning af det nederste drænlag

Der er ikke fundet beviser på tilstopning af de nederste drænlag som følge af recirkulering af perkolat.

Recirkulering af tilstrækkelige mængder perkolat

Ved mange deponeringsenheder har den recirkulerede perkolatmængde været utilstrækkelig til at opnå det erklærede formål: at stimulere gasproduktionen. En medvirkende årsag til dette hyppigt forekommende problem er, at der i mange tilfælde ikke fra starten har været gennemført en fyldestgørende konceptuel designproces. En sådan ville straks have vist, hvor store mængder perkolat, der ville være behov for at recirkulere.

Ustabile skråninger (jordskred)

LANDSS beretter, at der ikke fundet tilfælde, hvor jordskred direkte har kunnet henføres til recirkulering af perkolat (se dog Bilag 3), men mener dog, at dette fortsat udgør en potentiel risiko. For at imødegå denne risiko har nogle operatører etableret en "forbudt" zone, således at der ikke må injiceres perkolat nærmere end for eksempel 20 eller 30 m fra kanten af en affaldsskråning.

2.6 Miljø- og lovgivningsmæssige overvejelser

Hjemmesiden LANDSS identificerer og kommenterer nogle af de væsentligste miljømæssige og lovgivningsmæssige forhold, som giver anledning til speciel opmærksomhed i relation til recirkulering af perkolat:

Lugt, gasudslip og mulighed for luftindtrængning

Disse forhold er blevet identificeret som væsentlige potentielle risici under installationen af infrastrukturer, som medfører eksponering af et betydeligt affaldsareal [*dvs. snarere end under driften af recirkuleringen*]. Et eksempel er udførelsen af tætplacerede borer i et bånddrænsystem, men også andre typer af injektionssystemer, som involverer eksponering af affald under etableringen, kan potentielt give anledning til de ovennævnte problemer.

Kanaliserings/overfladeudbrud af perkolat

Kanaldannelse og overfladeudstrømning af perkolat er ofte observeret. De kan skyldes lateral strømning langs lag af daglig tildækning, eller fremkomme som følge af højt tryk, forårsaget af injektion af recirkuleret perkolat under højt tryk eller af strømning langs skrånende overflader med stort fald inde i det deponerede affald.

Negativ indflydelse på perkolatkvaliteten

Der eksisterer en generel opfattelse af, at recirkulering af perkolat kan føre til forringet perkolatkvalitet, men udredningen udført af Beaven et al (2009) fandt meget lidt bevis for dette. Kortvarige tilstrømninger af acetogent perkolat fra umættet affald til drænlaget kan forekomme i starten af en recirkulering, afhængigt af den intensitet, hvormed det recirkulerede perkolat tilføres. Det er dog ikke det samme som en forringelse af perkolatkvaliteten.

Forøget tryk på membransystemer

Udredningen af Beaven et al (2009) fandt ingen beviser til støtte for en generel bekymring for, at recirkulering af perkolat vil forøge trykket på membransystemerne. Tilgængelige data tyder på, at recirkulering for en given mængde af perkolat i en deponeringsenhed vil holde en betydelig mængde perkolat "i transit" på vej ned gennem affaldet, således at det ikke bidrager til en forøgelse af poretrykket i det nederste drænsystem. En lignende konklusion blev draget af en udredning fra USA om recirkulering af perkolat (Benson et al, 2007).

En operatør af et deponeringsanlæg, som havde recirkuleret perkolat og monitoreret perkolattrykket ved bunden af den pågældende enhed, observerede faldende tryk på membranen som følge af recirkuleringen, og nogle UK-myndigheder har rapporteret om stigende tryk på membranen, når recirkuleringen afbrydes. Knox og Shaw (2006) beretter om et eksempel, hvor perkolattrykket i drænlaget i bunden steg med 2,1 m på 48 dage efter at perkolatet "i transit" på vej ned gennem affaldet fik lov til at akkumulere der, fordi man afbrød oppumpning og recirkulering af perkolatet. Der er dog observeret et tilfælde i DK med for højt tryk på membranen/oversvømmelse pga. recirkulering (se afsnit 3.4.9).

2.7 Succeskriterier og monitorering af recirkulering

Hvorvidt et givet perkolatrecirkuleringssystem vil være succesfuldt, afhænger af svarene på følgende tre spørgsmål:

- Opfylder det de erklærede formål?
- Fungerer infrastrukturen teknisk og omkostningsmæssigt effektivt?
- Er der opstået nogen miljømæssige problemer som følge af recirkuleringen?

I de fleste tilfælde er recirkulering af perkolat gennemført enten for at accelerere nedbrydningen af affaldet eller af hensyn til håndteringen af produktionshastighed og mængde af perkolatet. Tidsskalaen for disse typer recirkulering er normalt år, og det vil derfor være hensigtsmæssigt at etablere et rutinemæssigt monitoringsprogram. Det vil yderligere være hensigtsmæssigt at opdele et sådant monitoringsprogram i følgende delområder:

- Påvirkning af affaldsnedbrydning og perkolatkvalitet
- Drifts- og funktionstilstand for infrastrukturen til recirkulering
- Vandbalancer og volumetriske aspekter
- Potentielle miljømæssige risici

På den førømtalte hjemmeside, LANDSS, foreslås det, at de i Tabel 2.4 til Tabel 2.7 nævnte monitoringsaktiviteter tages i betragtning:

Tabel 2.4: Påvirkning af affaldsnedbrydning og perkolatkvalitet.

Parameter	Kommentar
Gastemperatur i toppen af gasboringer/gasbrønde	Kan indikere lokale ændringer i reaktionshastigheder
Gastemperatur ved manifolder	Kan indikere generelle ændringer i reaktionshastigheder
Perkolattemperatur ved monitoreringsbrønde	
Perkolattemperatur ved pumpebrønde	

Parameter	Kommentar
Gasflow fra de enkelte gasboringer	
Gasflow fra hele recirkuleringsenheden	
Sætningshastighed	Ved hjælp af specielt måleudstyr eller nivelleringsmålinger
Gaskvalitet	CH ₄ , CO ₂ , H ₂ , osv.
Perkolatkvalitet i monitoringspunkter nær recirkuleringszonen	Kan påvise eventuelle gennembrud af acetogent perkolat eller forøget indhold af NH ₄ -N.

Tabel 2.5: Drifts- og funktionstilstand for infrastrukturen til recirkulering.

Parameter	Kommentar
Hydraulisk infiltrationshastighed	m ³ /m ² /år for overfladeudbredte systemer; m ³ /m/år for lineære systemer (f.eks. grøfter, drænrør) <i>Beskriv udviklingen grafisk som tidsserier med henblik på at registrere eventuelle tab af hydraulisk ydeevne</i>
Afdræningshastighed	Hastighed af faldet i trykhøjde for perkolatet, når tilførslen af recirkuleret perkolat til en enhed er stoppet.
Trykhøjde i injektionsstrukturer for perkolat	Ved hjælp af trykmåler, der kan nedsænkes gennem en brønd eller boring, eller piezometre, der installeres under opbygningen af deponeringsenheden.
Akkumulering af faststof/tilstopning	Visuel inspektion eller TV-inspektion af injektionsudstyr og adgangsrør
Det recirkulerede perkolats tilstopningspotentiale	F.eks. måling TSS, VSS, Ca, alkalinitet, mv. Hvis perkolatet forbehandles (beluftning, filtrering) kan der eventuelt måles både før og efter forbehandling <i>Sammenhold resultaterne med tegn på forøget trykhøjde i injektionsstrukturerne ved same flowhastighed – kan indikere tilstopning.</i>
Tilstopning/tab af funktionsevne af de nederste drænlag	Det er uklart, hvordan dette kan konstateres, men TV-inspektion kan måske være til nogen hjælp

Tabel 2.6: Vandbalancer og volumetriske aspekter.

Parameter	Kommentar
Perkolatstrømme fra individuelle deponeringsenheder	Tidsseriegrafer af daglige og akkumulerede perkolatvolumener fra enhederne
Recirkulerede perkolatvolumener	Hold regnskab med placering og tidsforløb af injicering af recirkuleret perkolat. Tidsseriegrafer af daglige og akkumulerede perkolatvolumener der

Parameter	Kommentar
	er recirkuleret til hver deponeringsenhed.
Perkolatstrøm fjernet til spildevandsbe-handlingsanlæg eller anden bortskaffelse	Tidsseriegrafer af daglige og akkumulerede perkolatvolumener til behandling eller anden bortskaffelse
Udefra tilført vand eller slam	
Nedbør	Hvis deponeringsanlægget ikke har egne målinger, kan de nær-meste vejrstationer eller amatørdata anvendes
Evapotranspiration	Anvend data fra Meteorologisk Institut eller estimerede daglige værdier Estimer nettoinfiltrationen
Perkolatniveau	Tidsseriegrafer af perkolatniveau og perkolattryk i deponeringsen-heder; beregnet sæsonbaseret variation i mængden af opmagasi-neret perkolat (<i>vigtigt at kende geometrien af enheden for at kun-ne omregne ændringer i trykhøjde til volumenændringer; også vigtigt at angive antagelser vedrørende affaldets vandmætnings-kapacitet</i>);
Perkolatmængde på vej i "transit" og absorberet af affaldet	Anvendes til at beregne potential forøgelse af trykhøjde, hvis re-cirkulering og perkolatfjernelse afbrydes

Tabel 2.7: Potentielle miljømæssige risici.

Parameter	Kommentar
Overfladeudsivning af perkolat, jordskred	Visuel inspektion – kig efter overfladeudbrud, overløb over celle- eller enhedsvolde
Udsivning fra transportledninger for perkolat	Visuel inspektion – kig efter spor af udsivninger som kan påvirke kvaliteten af overfladevand, specielt hvor trans-portledningerne passerer reetablerede overflader
Differentialsætninger omkring injektionszoner kan føre til udslip fra gas- og perkolatledninger	Visuel inspektion af gas- og perkolatledninger omkring injektionszoner
Blokeringer i gasledninger forårsaget af perko-lat fra recirkulering	Observation af trykændringer i gasledninger Kan muligvis udføres med automatiseret instrumentel detektering
CH ₄ -koncentration ved grænsen til depone-ringsenheden eller deponeringsanlægget	Sæt grænseværdier (som i nogle godkendelser af depo-neringsanlæg (i UK))
Lugt, H ₂ S ved grænsen til deponeringsanlæg-get	Sæt grænseværdi for H ₂ S
Differentialsætninger omkring injektionszoner	
Ustabilitet af skrånninger	
Ændringer i perkolatsammensætning	Monitér kvalitet og kvantitet af recirkuleret perkolat og

Parameter	Kommentar
	perkolat fjernet fra den aktuelle enhed (tidsserier af alle input- og outputstrømme) før, under og efter recirkuleringsperioden

Det er vigtigt at bemærke, at ikke alle af de ovenstående monitoringstiltag nødvendigvis bør udføres i alle tilfælde af recirkulering af perkolat. I stedet bør der anvendes en projekt-specifikt tilgang til udvikling af et monitoringsprogram, som passer til skala, formål og risici i det enkelte tilfælde. Et sådant monitoringsprogram bør udvikles i fællesskab af operatøren og tilsynsmyndigheden.

3. Praktiske erfaringer med recirkulering af perkolat

3.1 Metode og baggrund

De fleste af de detaljerede feltinformationer, som er tilgængelige vedrørende drift og effekt af recirkuleringssystemer stammer fra forskningsprojekter, om end nogle af disse er udført i en betydelig skala. For operationelle systemer i fuld skala er dokumenterede monitoringsdata og drifts- og ydelsesrapporter sjældne: mere hyppigt findes der kun anekdotisk information om effektivitet og problemer, som operatørerne har oplevet. Det svarer til den tilgang, som mange operatører har haft til design og konstruktion, som ofte har været udført ad hoc.

Denne rapport bygger i vidt omfang på en omfattende gennemgang af publiceret forskning, som blev gennemført i 2007/2008 (Beaven et al, 2009). Den inkluderer både en detaljeret litteraturgennemgang af forskning publiceret op til tidligt i 2007 og en højniveau-gennemgang af britiske (UK) operatørers erfaringer med recirkulering af perkolat. I denne sammenhæng er dette blevet suppleret med en gennemgang af litteratur om emnet publiceret siden da i forbindelse med Sardinien Symposierne fra 2007 til 2017.

Danske erfaringer er blevet inkluderet på basis af tilgængelige informationer og direkte kontakt til operatørerne på en række danske deponeringsanlæg, som faktisk recirkulerer perkolat.

3.2 Erfaringer med recirkulering af perkolat i United Kingdom

Den tekniske udredning, som blev gennemført af Beaven et al (2009) fandt, at recirkulering i udbredt grad blev praktiseret af operatører på deponeringsanlæg i UK, og at de anvendte en lang række forskellige infrastrukturtyper. Det er bemærkelsesværdigt, at der på dette tidspunkt ikke blev anvendt højtryks- overfladesystemer såsom vandkanoner, sprinklersystemer eller roterende markvandingssystemer: sådanne systemer blev anvendt i 1980'erne, men brugtes ikke mere på grund af overvejelser omkring dannelse af aerosoler.

De hyppigste formål med recirkulering af perkolat, som blev angivet af operatørerne fra UK, var håndtering af variationer i perkolatproduktionen og accelerering af nedbrydningshastigheden af affaldet.

I gennemgangen blev det bemærket, at få recirkuleringssystemer i UK var baseret på et konceptuelt design eller en klar beskrivelse af, hvor store perkolatvolumener, det var nødvendigt at recirkulere, eller af hvordan det anvendte design skulle sikre, at perkolatet nåede frem til alle de dele af affaldsmassen, som skulle gennemstrømmes. I stedet blev de fleste systemer som nævnt ovenfor konstrueret og drevet på ad hoc-basis.

De recirkulerede volumener var generelt lavere end de mængder, der var nødvendige for at fremme nogen målelig forøgelse af nedbrydningshastigheden for affaldet.

Holdningen hos tilsynsmyndighederne i UK var på dette tidspunkt domineret af modvillig accept: Nogle myndigheder gav udtryk for bekymring vedrørende miljømæssige aspekter og sagde, at de ville foretrække, at operatørerne undlod at recirkulere perkolat, men kunne ikke med rimelighed forhindre dem i det. I praksis var der ingen national politik for recirkulering af perkolat og ingen central teknisk vejledning. Følgelig varierede graden af accept eller modstand, som operatørerne mødte, geografisk, afhængigt af de lokale myndighedspersoners synspunkter.

Omfanget af monitoring af driftsforhold, miljømæssige påvirkninger og opfyldelse af formålene med recirkuleringen, som blev udført af operatørerne, var forholdsvis begrænset. Man må antage, at hvor håndtering af variationer i perkolatmængden var hovedformålet med recirkuleringen, er graden af succes simpelthen blevet vurderet ud fra, om deponeringsanlægget overlevede hver vinter uden overløb af perkolat, overskridelse af grænserne for perkolattryk eller overdrevne udgifter til ikke-planlagt fjernelse af perkolat med tankbiler. Men i de tilfælde, hvor formålet var at stimulere nedbrydningshastigheden af affaldet/gasdannelsen, fremgik det ikke, at der blev gennemført nogen form for monitoring med henblik på for eksempel at identificere forøget gasdannelse eller øgede sætningshastigheder.

De væsentligste driftsforhold, som blev omtalt af operatører, var (fra LANDS website):

Tilstopning af infrastrukturen til injektion af perkolat

Der var begrænset kvantitativ information om dette problem, men tilstopning af infrastrukturen til injektion af perkolat over perioder på nogle få uger ser ud til at være almindeligt forekommende, når det tilførte perkolat er acetogent, så tiltag til at undgå eller minimere dette er vigtige.

Oversvømmelse af gasboringer

Lokal oversvømmelse af gasboringer tæt ved recirkuleringsinfrastrukturen er blevet identificeret som en almindeligt forekommende konsekvens af recirkulering. Periodevis afbrudt perkolattilførsel ser ud til at være den bedste metode til at løse dette problem og er blevet anvendt rutinemæssigt af nogle operatører, ligesom det er blevet omtalt i litteraturen.

Effekter af sætninger

Mange operatører har oplevet problemer med brud på horisontale perkolatledninger og radiale rør fra brønde, som tilskrives differentialsætninger. Sætninger vil være signifikante i de fleste deponeringsenheder, specielt i nyligt deponeret affald, og kan være større i områder, hvor der recirkuleres perkolat. Nogle typer af infrastruktur (f.eks. fordelingspuder/drænmåtter, bånddræn og overfladeinstallationer) kan bedre modstå påvirkninger af sætninger end andre (f.eks. horisontale rørsystemer).

Andre potentielt problematiske forhold såsom tilstopning af de nederste drænlag og ustabile skråninger (jordskred) var ikke blevet observeret af operatører fra UK, selv om en operatør havde indarbejdet en praksis, som indebar, at der for at minimere risikoen for perkolatudsivning og jordskred ikke blev injiceret perkolat i afstande på mindre end ca. 30 m fra en affaldsskråning.

Siden udredningen af Beaven et al (2009) er der ikke blevet udarbejdet nogen oversigter over UK-praksis eller -erfaringer med recirkulering af perkolat, og der heller er ikke publiceret analyser af monitoringsdata fra recirkuleringssystemer i UK. Baseret på forfatternes personlige erfaringer og begrænset diskussion med kolleger i UK, er der gjort følgende observationer vedrørende situationen siden 2009-studiet:

- Anvendelse af recirkulering af perkolat er stadig udbredt, især til håndtering af sæsonvariationer af perkolatproduktionen.
- Der foregår i øjeblikket kun i meget begrænset omfang diskussioner af at recirkulere perkolat med henblik på at accelerere nedbrydningen af affaldet, selv om mange deponeringsanlæg er blevet nedlukket og oplever faldende gasproduktion (og derfor faldende indtægter fra energiproduktion).

- Der er ikke sket nogen yderligere udvikling eller forbedring af den ingeniørmæssige konstruktion af infrastrukturen, der anvendes til recirkuleringen. De fleste infrastrukturer består nu formentlig af systemer placeret under topmembranen såsom horisontale grøfter af ringe tykkelse fyldt med drænmaterialer og mere eller mindre dybe fordelingsbrønde eller -rør, med eller uden radiale drængrøfter. Et stort antal deponeringsanlæg er lukket, fordi mængden af affald til deponering er faldet, så mulighederne for at anvende lavtryksoverfladesystemer til fordeling af perkolat er blevet færre.
- Der er ikke kommet nogen vejledninger eller anvisninger fra myndighedernes side. UK Environment Agency udarbejdede et udkast til en vejledning i 2013, men det fik mange negative kommentarer og blev trukket tilbage. Den negative kritik var primært rettet mod den overdrevent præskriptive karakter af dokumentet, herunder krav om så intensiv og avanceret monitoring (f.eks. rutinemæssig anvendelse af elektrisk resistivitetstomografi), at de fleste operatører følte, at det umuliggøre recirkulering af perkolat.
- Myndighederne er fortsat meget lidt entusiastiske og er fortsat bekymrede over nogle potentielle miljøpåvirkninger. En af deres hovedbekymringer er risikoen for spild af perkolat og forurening af overfladevand, hvis der kommer brud på en perkolatrørledning, der passerer hen over en reetablet deponeringsenhed. Den samme bekymring gælder også for rørsystemer anvendt ved oppumpning af perkolat.
- Der er fortsat kun en begrænset del af monitoringen recirkulering af perkolat, som er fokuseret på opfyldelse af formålet, effektivitet og miljømæssige påvirkninger.

3.3 Erfaringer med recirkulering af perkolat i andre lande

Recirkulering af perkolat har været genstand for interesse i mange lande i verden og anvendes i stort omfang.

Et af de første steder, hvor der blev anvendt recirkulering, var USA, hvor Pohland (1975) foreslog det som et middel til at fremme bionedbrydning, sætninger, gasproduktion og behandling/rensning af perkolat. Siden da er der sket en omfattende implementering af recirkulering af perkolat i USA, specielt fra de tidlige 1990'ere og fremover, i forbindelse med bioreaktor-projekter, dvs. med det formål at stimulere hurtigere nedbrydning af affaldet. Mange af disse projekter blev gennemført med finansiel støtte fra et US EPA-forskningsprogram. På trods af dette bemærkede Reinhart og Townsend (1998), at myndighederne i nogle stater havde forbudt recirkulering med forskellige begrundelser, herunder manglende tillid til metoden, interferens med perkolatopsamlingsystemet, geologiske og klimatiske bekymringer, frostproblemer, perkolatudsivning, mangel på absorptionskapacitet og forværrede gas- og lugtproblemer.

Reinhart (1996) gennemgik sagsbeskrivelser for 8 fuldskalaprojekter, mens Benson et al (2006) gennemgik yderligere 5 projekter. Adskillige af de større projekter fra disse gennemgange er beskrevet i detaljer i Beaven et al (2009). Projekterne i USA har stort set i ligeligt omfang anvendt horisontale grøfter (som regel drænrør omgivet af drængrus eller andre materialer med høj transmissivitet) og vertikale brønde/boringer (både dybe og mere flade systemer anvendes); endvidere er der nogen brug af overfladebaserede sprinklersystemer og overfladedamme. Det er almindeligt at se flere systemer anvendt samtidig.

Meget af den publicerede information om projekter i USA kommer (som andre steder) fra forskningsprojekter, som er gennemført parallelt med egentlige recirkuleringsaktiviteter. For eksempel har Jain et al (2006) publiceret en serie af artikler vedrørende undersøgelser af den hydrauliske ydelse af vertikale klyngebrønde ved deponeringsanlægget New River i Florida, og nogle af deres data er inkluderet i opsummeringen i Tabel 3.2.

Der er dog publiceret relativt lidt kvantitativ information om, i hvor høj grad projekterne har opfyldt deres hovedformål, eller om hvilke miljømæssige udfordringer, de har mødt. Benson et al (2007) bemærkede, at de recirkulerede perkolatvolumener generelt ikke var tilstrækkelige til bringe affaldet op på en befugtningsgrad svarende til feltkapaciteten i nogen af de fem projekter, som de undersøgte. Dette er i overensstemmelse med observationerne i UK, på trods af at US EPA faktisk i nogle tilfælde sanktionerede supplerende input af ikke-farlige væsker i specifikke bioreaktorprojekter. Ikke desto mindre konkluderede forfatterne, at der for ét deponeringsanlæg, som modtog meget større mængder væske end de andre, i nogen grad var bevis for forbedret gasproduktion. Forfatterne bemærkede også, at der var behov for data over et længere tidsrum, end der på det pågældende tidspunkt var til rådighed.

Vi har ikke kendskab til nogen væsentlige oversigter over funktionen af recirkuleringsprojekter i USA senere end Benson et al (2007), så der mangler stadig information om den effekt, som disse projekter har haft på den samlede gasproduktion og nedbrydning.

Et vigtigt projekt i USA er der såkaldte Yolo County-projekt i Californien, hvor to 9,000 tons testceller (Augenstein et al, 2005) blev fulgt op med en implementering i fuld skala (Yazdani et al, 2006). Recirkulering svarende til 1000 mm/år i testcellerne fortsatte i 9 år med få operationelle problemer, hvor forfatterne nævnte anvendelsen af en permeabel daglig tildækning som en nøgelfaktor for den opnåede succes. Det blev vist, at befugtningen af affaldet blev øget med ca. 200 l/ton fra en medianværdi på ca. 15 % (w/w) til en medianværdi på 35 % (w/w) over en periode på to år. Resultatet var en stor forøgelse af gasdannelseshastigheden og gasudbyttet i recirkuleringscellen sammenlignet med en kontrolcelle. En lignende forøgelse af befugtningen blev genskabt i fuldskala-enheder på 5 hektar, og også her opnåedes en stor forøgelse af den initiale gasdannelseshastighed. Vi har ikke kendskab til nogen publiceret opdatering for dette projekt siden rapporten fra 2006.

I Frankrig og Italien har både Suez og Veolia gennemført recirkuleringsprojekter med henblik på at øge nedbrydningshastigheden for affaldet. Suez synes hovedsageligt at have anvendt horisontale injektionsgrøfter installeret under overfladen. Ydelsesdata for nogle af disse er opsummeret i Tabel 3.2. De bemærkede blandt andet en reduktion på 23 % - 33 % i det korttidsflow, som injektionsgrøfterne kunne håndtere, muligvis som følge af lokale sætninger, der påvirkede faldgradienten af rørene. Som ved USA-projekterne har meget af den publicerede information om disse projekter været videnskabelige artikler fokuseret på de hydrauliske forhold for vandstrømning gennem affald, med relativt lille opmærksomhed omkring den kvantitative påvirkning af gasdannelseshastigheder. Veolia har sponsoreret recirkulerings/bioreaktor-projekter i Frankrig, USA og Australien. Ved et projekt ved La Vergne-deponeringsanlægget i Frankrig har de, i modsætning til de horisontale infrastrukturer anvendt af Suez, anvendt parvis installerede vertikale brønde, dybe og overfladenære, til injektion af perkolat.

Både Suez og Veolia har rapporteret meget nyttig information om den laterale udbredelse af påvirkningen fra injektionsstrukturer. Veolia målte befugtningsgraden af affaldskerner i forskellige afstande fra deres brønde efter et års recirkulering af perkolat (Skhiri et al, 2006): de konkluderede, at der var

en indflydelsesradius på 5 m til 10 m. Dette er konsistent med resultater fra Suez-projekterne, hvor Barina et al (2005) skønnede, at den gennemsnitlige influenszone fra deres horisontale grøfter var 15 m til 20 m, dvs. op til 10 m på hver side. Det er yderligere konsistent med resultater fra en UK-undersøgelse af en injektionsgrøft (White et al, 2011), hvor der blev estimeret en lateral påvirkningszone på ca. 10 m (varierende fra 5 m til 15 m).

Der er også gennemført nyttig forskning i Holland som en del af hollandske Sustainable Landfill Research Programme: Landgraaf Bioreaktor-testcellen anvendte to nedgravede horisontale injektionsrørsystemer, placeret med en vertikal afstand op nogle få meter og placeret vinkelret på hinanden. Der blev opnået recirkuleringshastigheder svarende til 3000 mm/år på en celle på 0,44 hektar. Rørene i de laterale systemer var placeret med en indbyrdes afstand af ca. 13 m (Woelders et al., 2005).

Et andet større hollandsk fuldskala-recirkuleringsprojekt i det samme nationale forskningsprogram er blevet beskrevet af Van Vossen et al (2011). Ved deponeringsanlægget Vlagheide blev der recirkuleret perkolat over et areal på 1 hektar i tre år fra 2008 til 2011, hvorefter recirkuleringen blev udvidet til at omfatte hele anlægget i 5 år for at forøge befugtningen af det deponerede affald, at befugte tørre lommer, at forøge gasproduktionen og accelerere stabiliseringen af affaldet med det endegyldige formål af nå grænseværdierne for gas og perkolat. Systemet bestod af 10 horisontale dræn, som var ca. 100 m lange med en indbyrdes afstand på ca. 10 m. De opnåelige infiltrationshastigheder varierede mellem værdier svarende til 500 mm/år og 2000 mm/år. Forfatterne bemærkede, at de tre drænløjer tættest ved en sideskrænt blev taget ud på grund af perkolatudtrængning på skrænten. Desuden var der langvarige afbrydelser i frostperioder om vinteren. Den gennemsnitlige infiltrationsrate var 700 mm/år til 1000 mm/år, hvilket svarer til ca. 25 m³/hektar/dag. Forfatterne anvendte resistivitetsmålinger til at demonstrere en generel forøgelse af vandindholdet i affaldet. Der kunne desværre ikke findes yderligere publiceret materiale om dette betydelige projekt ved litteratursøgninger, så der foreligger ikke mere information om opnåelse af formål eller andre forhold vedrørende projektet.

En fortsættelse af det hollandske Sustainable Landfill Research Programme sigter på at opnå "final storage quality" ved tre fuldskala-demonstrationsprojekter. Ved det ene af disse (De Kragge) vil perkolat blive recirkuleret med en injektionsrate på 300 – 1200 mm/år i 5 år, efterfulgt af in situ- beluftning. De nødvendige lovændringer, som banede vej for projektet, blev gennemført i 2016, og de første konstruktions- og installeringsarbejder blev igangsat i anden halvdel af 2017. Mens dette skrives, er det endnu ikke besluttet, hvilket system, der vil blive anvendt til recirkuleringen. Fire systemer har været under overvejelse: infiltrationsfelter, overfladenære vertikale brønde, horisontale dræn og klynger af vertikale brønde af varierende dybde.

Reyes et al (2011) beskriver et nyt recirkuleringsprojekt ved deponeringsanlægget Bahia Blanca i Patagonien, Argentina, en region, hvor affaldet blev betragtet som for tørt til at kunne nedbrydes effektivt, så formålet var at forøge affaldets vandindhold. Artiklen beskriver nogle indledende undersøgelser af, hvor store mængder ekstra vand, det ville være nødvendigt at tilsætte for at vedligeholde en aktiv recirkulering af perkolat. Ved en litteratursøgning blev der ikke fundet yderligere informationer om dette projekt.

Hvad angår miljøpåvirkninger af recirkulering fandt Benson et al (2007) ingen forskel mellem bioreaktorenheder og ikke-bioreaktorenheder med hensyn til perkolattryk, perkolatproduktion og membran-temperatur, men de bemærkede, at der var nogen evidens for højere organisk styrke af perkolatet under de første 2-3 års drift. Da deres oversigt omfattede USA-projekter ved enheder, som primært

indeholdt husholdningsaffald, er det ikke klart, om de samme konklusioner kan overføres til deponeringsenheder med langt lavere indhold af organisk materiale.

I flere udenlandske projekter blev der rapporteret om perkolatudsivning fra sideskrænter, specielt når der havde været anvendt højere injektionstryk for perkolatet (op til 3 bar).

Selv om recirkulering af perkolat nu er blevet en rutineaktivitet mange steder, og selv om der tydeligvis findes nogle store igangværende recirkuleringsprojekter, ser der ud til at have været en nedgang i mængden af publicerede artikler/indlæg om emnet siden udgivelsen af den tekniske udredning af Beaven et al (2009). En gennemgang af præsentationer i Sardinia Proceedings gav nedenstående antal indlæg:

2009: 8 indlæg;
2011: 5 indlæg;
2013: 4 indlæg;
2015: 2 indlæg;
2017: 'recirculation' blev ikke fundet i keywords eller titler for nogen indlæg.

3.4 Erfaringer med recirkulering af perkolat i Danmark

3.4.1 Tidlige erfaringer (Uggeløse losseplads)

Recirkulering af perkolat på deponeringsenheder blev faktisk overvejet og undersøgt i felt skala i Danmark allerede i de tidlige 1980'ere som en metode til (for)behandling af perkolat. I 1983 og 1984 blev der på Uggeløse Losseplads gennemført et F&U-projekt finansieret af Teknologirådet og Amaperforbrænding med henblik på at undersøge effekten af at recirkulere perkolat fra en yngre enhed til toppen af en ældre enhed i den methanogene fase (Christiansen et al, 1985). Forventningen var, at det ville øge den biologiske nedbrydning af affaldet og reducere indholdet af organisk stof (målt som BI_5) i perkolatet. Over en periode på to år blev der recirkuleret 11.200 m³ perkolat fra fire nyere enheder (samt enheden selv) til overfladen af affaldet i Etape 1 på Uggeløse Losseplads (4,0 hektar, 7 – 10 m højde af blandet affald deponeret fra august 1979 til april 1982) ved hjælp af 200 m perforerede drænledninger nedgravet til frostfri dybde i et stjernelignende arrangement med fire "arme"). To tredjedele inde i forsøget blev drænledningerne forlænget med yderligere 100 m. Gennem de to år, som forsøget varede, blev infiltrationen af nedbør estimeret til 21.760 m³, den kombinerede evapotranspiration og forøgelse af vandindholdet i affaldet blev estimeret til 38.720 m³, og den målte mængde perkolat, som blev fjernet fra Etape 1, var 24.960 m³. Baseret på projektresultaterne blev det konkluderet, at det var muligt at reducere BI_5 i ubehandlet perkolat fra nyere deponeringsenheder med 80 til 95 % ved at recirkulere perkolatet til en ældre enhed (som forventes at være i den methanogene fase). Der blev dog ikke observeret nogen reduktion af total-N/ammonia-N – tværtimod sås der en betydelig forøgelse af koncentrationsniveauet af total-N og ammonia-N i perkolatet fjernet fra Etape 1 sammenlignet med normalt perkolat (Christiansen et al, 1985).

Baseret på den ovenstående information kan den hydrauliske driftsydelse af recirkuleringen af perkolat på Uggeløse Losseplads opsummeres som vist i Tabel 3.1.

Tabel 3.1: Hydraulisk driftsydelse for recirkuleringen af perkolat på Uggeløse Losseplads.

	Value	Units
Systembeskrivelse		
Areal af Etape 1	4	ha
Areal af Etape 1	40,000	m ²
Længde af drænledninger (første periode)	200	m
Længde af drænledninger (anden periode)	300	m
Ydelsesdata		
Perkolatvolumen recirkuleret over to år	11,200	m ³
Injektionshastighed for infrastrukturen (første periode)	77	l/m/dag
Injektionshastighed for infrastrukturen (anden periode)	51	l/m/dag
Arealbaseret injektionshastighed for det maksimale år	3.8	m ³ /ha/dag

3.4.2 Oversigt over nyere og aktuelle danske erfaringer med recirkulering af perkolat

Da denne rapport blev påbegyndt, havde forfatterne kendskab til recirkuleringsaktiviteter på de følgende fem danske deponeringsanlæg:

Miljøcenter Gerringe
 Reno Djurs
 ARWOS Deponi
 Randers Affaldsterminal
 Odense Nord (forsøg)

I det følgende er der foretaget en opsummering af den foreliggende information om hvert af disse anlæg, mens der i bilagene er givet mere detaljeret information og vurderinger af de indsamlede data (hvor sådanne har været tilgængelige). Informationerne for de enkelte anlæg er yderligere opsummeret i Tabel 3.2 og Tabel 3.3.

Nogle operatører fra andre deponeringsanlæg end de ovenfor viste har udvist interesse for at recirkulere perkolat, og nogle har ansøgt om tilladelse til recirkulering. På grund af usikkerhed omkring de potentielle miljømæssige konsekvenser har tilsynsmyndighederne dog tøvet med at udstede sådanne tilladelser, specielt hvad angår recirkulering af blandet perkolat fra én type enheder til andre enheder.

Under udarbejdelsen af denne rapport er forfatterne blevet gjort bekendt med yderligere mindst fire danske deponeringsanlæg, hvor perkolat bliver eller er blevet recirkuleret. De er ikke medtaget i den mere grundige gennemgang i bilagene, men de er kort omtalt i afsnit 3.4.9.

3.4.3 Miljøcenter Gerringe

På deponeringsanlægget på Miljøcenter Gerringe (som ejes og drives af REFA), er perkolatet blevet recirkuleret gennem sommermånederne (maj til og med september) siden 1993 ved hjælp af et sprinklersystem, der flyttes rundt på overfladen til de forskellige dele af det 12 hektar store deponeringsanlæg, der består af en enkelt enhed med blandet affald, efterhånden som de færdigopfyldes. Hovedformålet med recirkuleringen (ca. 13.000 m³ på 24.000 m² over de 5 måneder i 2016) er styring af perkolatudledningen til renseanlæg, da deponeringsanlægget ikke må udlede perkolat til spildevandsrensingsanlægget fra maj til oktober. Et yderligere formål – som også er blevet opfyldt – er at reducere koncentrationen af ammonium i perkolatet gennem oxidation og denitrifikation (under om-

dannelse af ammonium til frit nitrogen). Der er ikke rapporteret nogen alvorlige udfordringer i forhold til recirkuleringen af perkolat ved Miljøcenter Gerringe. Udsprinklingen af perkolat stoppes om natten og i stærk vind. Flere detaljer er angivet i Bilag 1.

3.4.4 Reno Djurs I/S

På Reno Djurs' deponeringsanlæg ved Glatved er perkolat fra en central perkolatopsamlingstank, som tilføres perkolat fra adskillige enheder, siden 2012 blevet recirkuleret til enheder med shredderaffald og enheder med blandet affald samtidig med at affaldet placeres på enhederne. Hovedformålet med recirkuleringen er at sikre en optimal og homogen befugtning af det deponerede affald og derved forbedre betingelserne for den fremtidige infiltration og strømning/perkolering af nedbør/perkolat gennem affaldet. Dette forventes at forbedre såvel den biologiske nedbrydning som udvaskning/gennemskylning af affaldet, hvilket igen forventes at medføre en reduktion af efterbehandlingstiden.

Fra 2012 til 2014 blev perkolatet spredt ud over nyligt deponeret affald på deponeringsenhedernes top ved hjælp af en tankvogn med spredeslange. Fra 2015 er perkolatet fra den centrale samletank blevet pumpet op til to mobile, men faststående perkolatspredere placeret på enhederne for henholdsvis shredderaffald og blandet affald. Pumper, rørledninger og fordelingsystemer er dimensioneret til en leveringskapacitet på ca. 32 m³/time, som udsprøjtes over et areal på ca. 10 m x 10 m af perkolatsprederne. Når affaldet ankommer, placeres affaldet inden for dette areal og gennemvædes med perkolat, hvorefter det dozes på plads. Når en enhed til shredderaffald er blevet helt opfyldt, udgraves parallelle grøfter (ca. 1,5 m brede, 1,5 m dybe og 50 m lange med 5 m mellem hver) med en svag langsgående hældning, som ved hjælp af en slange opfyldes med recirkuleret perkolat. Perkolatgrøfterne er indbyrdes forbundet for at lade perkolatet strømme fra en grøft til den næste. Ved slutningen af 2016 var en total perkolatmængde på ca. 163.000 m³ blevet tilført omkring 246.000 tons shredderaffald, og en perkolatmængde på ca. 13.000 m³ var blevet tilført ca. 163.000 tons blandet affald.

Reno Djurs har ikke mødt nogen alvorlige udfordringer i forbindelse med recirkuleringen. Hvis og når nedsivningen af perkolat fra de åbne grøfter aftager på grund af tilstopning af porerne i bunden af en grøft, graves der blot en ny ud ved siden af den gamle. Udsprinkling af perkolat stoppes i stærk vind for at forhindre utilsigtet spredning. Der har ikke været rapporteret nogen tilfælde af jordskred på skrånninger som følge af recirkuleringen af perkolat, og Reno Djurs oplyser, at recirkuleringen planlægges omhyggeligt med henblik på at undgå den slags problemer.

Udviklingen af perkolatsammensætningen fra de forskellige enheder over tid er blevet sammenlignet med udviklingen i sammensætningen af perkolatet i den centrale tank, og det kan ikke fuldstændigt udelukkes, at recirkuleringen af blandingen af perkolat fra adskillige enheder har medført, at koncentrationerne af nogle metaller, herunder Cu og Zn, i perkolatet, der opsamles fra enhederne med shredderaffald, overstiger det niveau, som de ville forventes at ligge på uden recirkulering af perkolat fra den centrale tank. Dette udgør dog ikke nødvendigvis et problem, da hele perkolatmængden fortsat håndteres forsvarligt og sikkert. Det er sandsynligt, at når de forhøjede koncentrationer af disse stoffer i perkolatet fra den centrale tank aftager eller recirkuleringen stoppes, vil koncentrationen af stofferne i perkolatet fra shredderaffaldet igen falde til det tidligere eller et lavere niveau. Akkumulering af opløselige stoffer i perkolatet i den centrale tank forhindres eller reduceres ved kontinuerlig bortpumpning af en vis mængde af perkolatet til et kommunalt spildevandsrensingsanlæg.

Af resultaterne synes det klart at fremgå, at tilsætning af vand og recirkulering af perkolat på Reno Djurs' deponeringsanlæg har forøget både vandoptagelsen i affaldet og L/S, specielt for deponeringsenhederne for shredderaffald. Det vil formentlig være muligt at reducere recirkuleringshastigheden noget uden at reducere vandindholdet i det deponerede affald. Det ultimative mål – at minimere varigheden af efterbehandlingsperioden – er et langtidsmål, og på nuværende tidspunkt er det ikke muligt at vurdere, hvorvidt dette mål vil blive nået. Flere detaljer er angivet i Bilag 2.

3.4.5 Arwos Deponi

På Arwos Deponi ved Sdr. Hostrup er perkolat fra en fælles opsamlingstank siden 2014 blevet recirkuleret til to deponeringsenheder for blandet affald, en der er i drift under opfyldning og en, der blev lukket i 2001/2002. Formålet med recirkuleringen var og er at reducere mængden af perkolat, som skal pumpes til det kommunale spildvandsrensingsanlæg. Endvidere har man forventet, at der ville ske en stigning i gasproduktionen som følge af det forøgede vandindhold i affaldet.

På den lukkede deponeringsenhed fordeles perkolatet ved hjælp af nedgravede, parallelle horisontale drænrør, som er placeret oven på 30 cm drængrus, som igen er placeret oven på affaldet. 12 separate U-formede drænrør på 2 x 69 m er placeret horisontalt med en indbyrdes afstand på ca. 5 m og tildækket af geotekstil og et yderligere tyndt lag af drængrus under 0,8 til 1,0 m overjord. Drænrørene er udført i PE med indre diameter 40 mm og 2.4 mm vægtykkelse i PN10. Huller med 4 mm diameter er placeret for hver 1,4 m drænrør.

På den igangværende deponeringsenhed udsprøjtes recirkuleret perkolat på overfladen af affaldet, som fortsat tilføres ved hjælp af en fordelingsenhed (en "slæde"), som kan flyttes rundt på overfladen med en frontlæsser. Den aktive del af fordelingsenheden er et vandret jernrør placeret omkring 1 m over terræn med 10 huller med diameter på 12 mm, hvorfra perkolat sprøjtes eller sprinkles ud over affaldsoverfladen (med en sprøjtelængde på nogle få m). Hullernes store diameter forhindrer tilstopning og aerosoldannelse. Under deponeringen installeres desuden horisontale drænledninger i forskellige dybder med henblik på fremtidig tilførsel af perkolat.

Per midt-oktober 2017 var ca. 162.000 m³ perkolat blevet recirkuleret på en affaldsmængde svarende til 206.000 tons. Tilstedeværelsen af partikulært materiale i det recirkulerede perkolat (primært små stykker polystyren, plastpartikler og "hårdt" papir, som fortrinsvis stammer fra overfladeafstrømmende vand fra en midlertidig oplagringsplads, der også blev tilført til perkolaopsamlingstanken) havde gjort det nødvendigt at installere on-line filtre på perkolatpumpeledningen fra opsamlingstanken til fordelingsenhederne, for at forhindre tilstopning af de nedgravede drænrør. Filtrene skal renses på daglig basis, hvilket er ganske tidskrævende.

I 2016 skete der et lille jordskred på den sydlige skråning af den nedlukkede deponeringsenhed som følge af et perkolatudbrud på skråningen. Situationen blev udbedret delvis ved at reducere tilførslen af recirkuleret perkolat nær skråningen (lukning af et U-rør), delvis ved at etablere en dræn og oprense en drængroft ved foden af skråningen inden for arealet med bundmembran, hvorfra eventuelt perkolat kan pumpes tilbage i opsamlingstanken. U-røret til injektion af perkolat nærmest skråningen anvendes ikke mere, og der har ikke været yderligere perkolatudtrængninger.

Ud fra de vandbalancer, som kan estimeres, er det ikke helt klart i hvilket omfang recirkuleringen kan have resulteret i en (midlertidig) reduktion af mængden af perkolat, som pumpes til spildevandsrensingsanlægget. Arwos rapporterer, at der ikke er observeret nogen væsentlige ændringer i sammensætningen af perkolatet som følge af recirkuleringen. Flere detaljer kan findes i Bilag 3.

3.4.6 Randers Affaldsterminal

På deponeringsanlægget på Randers Affaldsterminal samles og blandes perkolat fra både igangværende og lukkede enheder, primært med blandet affald, i en central tank. En del af perkolatet fra tanken recirkuleres til vertikale injektionsbrønde placeret på toppen af to lukkede enheder og til et "fiskebensformet" system af nedgravede, horisontale drænrør placeret drængrus ned ad en forholdsvis stejl skrænt på en af de to lukkede deponeringsenheder. Perkolatet pumpes til en fordelingsbrønd på toppen af enheden og løber ved gravitation ned gennem "rygraden" og distribueres herfra ud i de individuelle "fiskebensledninger" til begge sider. Fordelingssystemet er konstrueret og reguleres manuelt således, at hvert sæt af "fiskeben" løber fuldt, inden perkolatet løber videre til det næste (lavere placerede) sæt af fordelingsrør. Hvis og når alle siderør er fulde, og perkolatet er nået til bunden af systemet, ledes det tilbage til den centrale perkolatopsamlingskammer. Samtidig udløses en kontakt, der midlertidigt standser fødepumpen for perkolat til toppen af systemet.

Formålet med recirkulering af perkolatet var at øge befugtningen af affaldet med henblik på at stimulere gasproduktionen. Det var yderligere forventet, at dette måske også kunne reducere mængden af perkolat, som skal pumpes til spildevandsbehandlingsanlægget. Det er opfattelsen hos operatørerne af Randers Affaldsterminal, at gasproduktionen er steget som følge af recirkuleringen af perkolat, og at mængden af perkolat til spildevandsrensning blevet reduceret. På nuværende tidspunkt (2017) er ingen af delene dog rigtigt dokumenteret.

Operatørerne af Randers Affaldsterminal nævnte at affaldslag med specielle flow-egenskaber kunne være en udfordring, fordi det medførte akkumulering af perkolat. En anden udfordring var, at kanalisering af perkolat fra top til bund i "fiskebenssystemet" bevirkede, at det samme perkolat blev sendt gennem systemet gentagne gange uden at blive ordentligt fordelt. Forekomst af perkolatudbrud på den stejle skrænt blev også nævnt. Yderligere detaljer findes i Bilag 4.

3.4.7 Odense Nord Miljøcenter

På en nedlukket deponeringsenhed for blandet affaldet på Odense Nord Miljøcenter gennemføres der forsøg med recirkulering af perkolat. Formålet er at undersøge, om inaktive horisontale gasopsamlingsledninger, som er placeret i affaldet ved hjælp af kontrolleret horisontal boring er anvendelige til recirkulering af perkolat med henblik på at sætte gang i gasproduktionen. Hidtil (fra 13. november 2016 til 30. august 2017) er en samlet mængde på 850 m³ perkolat blevet recirkuleret til enheden, som indeholder ca. 589.000 tons affald ved hjælp af tre af de fem rørledninger til gasopsamling. Det er for tidligt at drage nogen konklusioner vedrørende effekten af recirkuleringen, men forsøget fortsætter. Flere detaljer findes i Bilag 5.

3.4.8 Opsummering af danske erfaringer med recirkulering af perkolat

Nogle karakteristika af de danske anlæg med erfaringer med recirkulering af perkolat er kort opsummeret i Tabel 3.2, mens de tekniske data vedrørende re-injektionshastigheder for perkolat i Tabel 3.3 er sammenlignet med tilsvarende data fra udenlandske anlæg.

Ud fra et miljøbeskyttelsesperspektiv (og af hensyn til bæredygtigheden) er det meget vigtigt at opnå viden om, hvorledes kvaliteten af det perkolat, som opsamles fra en deponeringsenhed, hvortil der recirkuleres perkolat, påvirkes, både på kort og langt sigt. Forbedring af perkolatkvaliteten på længere sigt (og dermed forkortelse af efterbehandlingsperioden) gennem øget bionedbrydning og udskylning/udvaskning af opløselige stoffer var direkte anført som et langtidsmål for recirkulering af perkolat på Reno Djurs og muligvis implicit inkluderet formålene hos nogle af de andre danske deponeringsanlæg, som recirkulerer perkolat. Afhængigt af, hvor stor en indsats der gøres for recirkulere perkolatet,

kan der også være overordnede miljømæssige fordele forbundet med at reducere mængden af perkolat, som sendes til et spildevandsrensningsanlæg (som dokumenteret af reduktionen af ammonium gennem nitrifikation ved Gerringe Miljøcenter og reduktionen af BI_5 ved forsøget på Uggeløse Losseplads). Recirkulation af perkolat til en deponeringsenhed kan også føre til midlertidige forøgelse af koncentrationerne af forskellige stoffer i det perkolat, som opsamles fra enheden.

Tabel 3.2: Opsummering af nogle karakteristika af nogle danske deponeringsanlæg, som har erfaringer med recirkulering af perkolat.

Deponeringsanlæg	Periode	Type af recirkulering	Metode	Formål	Opnåede mål	Udfordringer
Uggeløse	1983 – 1984	Inkluderer perkolat fra andre enheder*	Nedgravede horisontale rør	Forbehandling af ungt perkolat	Reduktion af BI_5 – ingen denitrifikation (faktisk det modsatte)	-
Gerringe	1993 → (fra maj til og med sep.)	Perkolat fra samme enhed	Sprinkleranlæg	Fordeling af perkolatledning på perioden oktober til og med april – fjernelse af ammoniak	Begge formål opfyldt	Ingen udfordringer er rapporteret – der sprinkles ikke perkolat om natten eller i stærk vind
Reno Djurs	2012 →	Inkluderer perkolat fra andre enheder	Sprinkleranordninger og åbne grøfter	Opnåelse af optimalt vandindhold i affaldet og reduktion af efterbehandlingsperioden	Det gennemsnitlige vandindhold svarer til feltkapaciteten, det kan ikke vurderes, om efterbehandlingstiden vil blive reduceret	Ingen alvorlige udfordringer er rapporteret - forskellige forholdsregler er taget
Arwos	2014 →	Inkluderer perkolat fra andre enheder*	Nedgravede horisontale drænrør og sprinkleranordning	Forbedret perkolathåndtering – reduktion af perkolatmængden til behandling på rensningsanlæg	Reduction of the volume of leachate for treatment not documented	Tilstopning af filtre pga. partikelindhold i perkolatet – et mindre jordskred på en skråning pga. udstrømmende perkolat - forholdsregler er taget
Randers	2011 →	Inkluderer perkolat fra andre enheder*	Vertikale injektionsboringer og nedgravede horisontale drænrør	Forøgelse af vandindholdet i affaldet med henblik på forøget gasproduktion og reduktion af perkolatmængden til behandling på rensningsanlæg	Hverken forøgelse af gasproduktionen eller reduktion af perkolatmængden til rensningsanlæg kan dokumenteres på nuværende tidspunkt	Perkolatudbrud på skråning, kanal丹nelser mellem drænrør og udløbsbrønd
Odense Nord	2016 →	Perkolat fra samme enhed	Indskudte horisontale perforerede gasopsamlingsrør	Forsøg med henblik på at undersøge, om inaktive gasopsamlingsrør kan anvendes til recirkulering af perkolat	Forsøget pågår	Ingen alvorlige udfordringer er rapporteret

*: Det recirkulerede perkolat kommer fra forskellige enheder, men alle er enheder for blandet affald.

Af forskellige årsager er det ikke altid let at dokumentere ændringer i perkolatkvaliteten forårsaget af recirkulering. Nogle af de faktorer, som kan spille en rolle i denne sammenhæng, er oplistet nedenfor:

- Ingen beskrivelse af basistilstanden uden recirkulering at sammenligne med. På Gerringe Miljøcenter er dette for eksempel kompensere af det faktum, at data fra sommerperioden (med recirkulering) kan sammenlignes med data fra vinterperioden (uden recirkulering).
- Basistilstanden kan i sig selv ændre sig som resultat af processer, der forekommer både uden og med recirkulering efterhånden som det deponerede affald udvikler sig og ældes. Dette kan gøre det vanskeligt at skelne mellem basistilstanden og effekten af recirkulering (for eksempel gasproduktionen på Randers Affaldsterminal).
- Hvis perkolatet, som recirkuleres til en deponeringsenhed alene består af (en del af) perkolatet fra denne samme enhed, og kvaliteten (og kvantiteten) af perkolatet, der opsamles fra enheden eller den del af enheden, som er hydraulisk berørt af recirkuleringen, monitoreres omhyggeligt og separat før, under og efter recirkuleringen, skulle det være muligt at vurdere den indflydelse, som recirkuleringen har på kvalitet (og kvantitet) af perkolatet – stadig under hensyntagen til de ovenfor nævnte forhold omkring basistilstanden. Det samme vil til en vis grad gælde, hvis det recirkulerede perkolat også omfatter perkolat fra andre enheder, så længe sammensætning og kvantitet af det tilførte perkolat også monitoreres. Det vil sandsynligvis forudsætte nogle års recirkulering under forholdsvis stabile betingelser at opnå pålidelige og konsistente resultater. Disse betingelser er i hvert fald delvis opfyldt på Gerringe Miljøcenter, Reno Djurs, Arwos Deponi og Randers Affaldsterminal. Effekten på Gerringe Miljøcenter er omtalt ovenfor, og situationen på Reno Djurs er diskuteret nedenfor. Perkolatmoniteringsdataene fra Arwos udviser stor variabilitet over tid og tillader (endnu) ikke nogen konklusioner vedrørende effekten af recirkuleringen på perkolatkvaliteten. For Randers Affaldsterminal har det, bl.a. på grund af ændringer i monitoringspunktet, ikke været muligt at vurdere effekten på perkolatkvaliteten, og på Odense Nord er den mængde af perkolat, som indtil nu er recirkuleret, for lille til at kunne påvirke kvaliteten af det perkolat, som opsamles fra enheden.

Ved Reno Djurs har COWI (2016) sammenlignet tidsserier af sammensætningen af perkolatet fra den centrale perkolatopsamlingsstank med sammensætningen af perkolatet fra de individuelle deponeringsenheder A, B og M med shredderaffald og J, K og L med blandet affald fra omkring 1,5 år inden recirkuleringen blev påbegyndt, indtil ca. 6 år efter recirkuleringen startede. På grund af den høje recirkuleringshastighed er dataene for shredderaffaldet de mest interessante. Volumen af recirkuleret perkolat er for shredderaffaldet omkring en størrelsesorden større end den naturlige infiltration af nedbør, så det kunne forventes at ville dominere den resulterende perkolatkvalitet (se Bilag 2). Basistilstanden uden recirkulering dækker en forholdsvis kort periode og er muligvis ikke fuldt ud repræsentativ for hele perioden. Ikke desto mindre er det klart, at forhøjede og maksimumskoncentrationer i perkolatet fra samletanken af for eksempel Cu, Pb, Zn, Cd og Ni ofte er reflekteret af (ofte midlertidige) forøgelse i perkolat opsamlet fra enhederne A, B og M. I mange tilfælde falder koncentrationsniveauerne tilbage til niveauet for basistilstanden, når koncentrationerne i det tilførte perkolat aftager. Dette kan muligvis være en indikation af præferentielt (kanaliseret) flow, men kan også være forårsaget af sorption i shredderaffaldet. COWI (2016) konkluderer, at datamaterialet på dette tidspunkt ikke er tilstrækkeligt til at dokumentere den overordnede effekt af recirkuleringen af perkolatet på Reno Djurs.

Et forøget indhold af et stof i perkolatet fra en deponeringsenhed som følge af tilførsel af perkolat fra andre enheder udgør ikke i sig selv et problem, så længe perkolatet opsamles og pumpes til en samletank, hvorfra overskudsperkolat pumpes til det spildevandsrensingsanlæg, hvor det alligevel ville

være endt. Det kan forøge koncentrationen af nogle stoffer i perkolatet fra enheden på kort sigt, men når recirkuleringen ophører og enheden alene gennemstrømmes af infiltrerende nedbør, vil koncentrationsniveauet fra disse stoffer i perkolatet fra enheden sandsynligvis faldet til (og under) det tidligere niveau, som alene kontrolleres af affaldet i enheden, mens efterbehandlingen (opsamling og behandling af perkolat) stadig foregår. Dette forudsætter selvfølgelig, at perkolatet, som tilføres spildevandsrensingsanlægget, overholder kvalitetskriterierne for modtagelse på dette anlæg.

Ud fra et perkolatkvalitetsperspektiv er det ikke sikkert, at recirkulering af perkolat fra flere enheder til en enkelt enhed afviger væsentligt fra recirkulering af perkolat fra én enhed til samme enhed, hvis alle enheder indeholder samme type affald. Stofferne vil være de samme, men koncentrationen af stofferne kan øges i perkolatet fra enheden, som modtager det recirkulerede perkolat, på grund af evapotranspiration og midlertidig stoftilbageholdelse. Selv om enhederne indeholder samme type affald, vil de dog ofte være på forskellige udviklingsstadier, og derfor producere perkolat af forskellig sammensætning. Dette kan faktisk i nogle tilfælde ses som en fordel, som demonstreret ved Uggeløse Losseplads, hvor perkolat fra nyere enheder er forbehandlet ved gennemsivning af det methanogene affald i en ældre enhed.

Recirkulering af perkolat, uanset om de sker fra samme eller flere enheder, vil ofte føre til nogen akkumulering af og derfor koncentrationsforøgelse af letopløselige stoffer som f.eks. klorider, specielt når der anvendes sprinklersystemer. Det er derfor altid nødvendigt at bløde en strøm fra recirkuleringssystemet, dvs. at bortlede og behandle en del af perkolatet for at fjerne ikke-nedbrydelige og svært nedbrydelige stoffer og nedbrydningsprodukter og forhindre akkumulering, som – udover at ikke at være bæredygtigt – kan give anledning til tilstopning og korrosion.

3.4.9 Danske deponeringsanlæg med recirkulering, som ikke indgik i gennemgangen

Edslev Losseplads til blandet affald blev etableret i 1979 i en tidligere mergelgrav og er udstyret med bundmembran og perkolatopsamlingsystem samt et sekundært drænsystem under bundmembranen, da lossepladsen ligger i et område med særlige drikkevandsinteresser. Lossepladsen har siden 1999 været under efterbehandling. Oppumpet perkolat bortskaffes til Viby Rensningsanlæg sammen med oppumpet perkolatpåvirket grundvand fra det sekundære dræn under etaperne 3 og 4. Perkolat er blevet recirkuleret siden ved hjælp af tildækkede horisontale dræn/fordelingsledninger placeret oven på affaldslaget. Der er en betydelig gasproduktion fra lossepladsen. Formålet med recirkuleringen har været/er at udjævne og minimere mængden af perkolat, som pumpes til spildevandsrensingsanlægget, og at forøge stofkoncentrationerne i et reduceret perkolatvolumen. Indtil starten af december er der i 2017 recirkuleret ca. 19.000 m³ perkolat sammenlignet med de 28.000 m³, som er pumpet til spildevandsbehandling. For omkring 10 år siden skete der et overløb af perkolat pga. højt perkolatniveau i lossepladsen. Siden da er perkolattrykket på membranen/perkolatniveauet blevet monitoreret og overvåget, og der har ikke været problemer siden. Operatørerne mener, at formålene med recirkuleringen er blevet opnået. Disse informationer er venligst blevet givet af Hanne Tokkesdal Jensen, AffaldVarme Aarhus.

Fra 2002 til 2007 blev ca. 21.000 m³ perkolat recirkuleret til overfladen af to deponeringsenheder med blandet affald ved **Sandholt-Lyndelse Deponi**, mens 226.000 m³ perkolat blev pumpet til spildevandsrensingsanlæg i den samme periode. Formålet var at reducere mængden af perkolat, som skulle sendes til rensning, men det er uklart, om målet blev nået. Perkolatet blev udspreddt over overfladen af affaldet, ført ved hjælp af en tankvogn med spreder, derefter ved hjælp af et sprinklersystem. Recirkuleringen blev stoppet på grund af klager over lugtgener – og fordi der blev installeret afsluttende tildækning.

I begrænset omfang er der også blevet recirkuleret perkolat ved en enhed for restprodukter fra affaldsforbrænding på **Lisbjerg Deponeringsanlæg** (300 m³ recirkuleret ud af en total produktion på 15.000 m³ perkolat) og ved en enhed for mineralsk affald/slamaske ved **BIOFOS A/S** spildevandsbehandlingsanlæg (yderligere information er ikke forsøgt indsamlet).

3.5 Sammenligning af de opnåede recirkuleringshastigheder

En mere dybtgående analyse af de anvendte driftsformer med hensyn til recirkulering af perkolat i Danmark ligger uden for rammerne af nærværende projekt, men kvantificerbare data fra danske og internationale projekter er opsummeret og præsenteret i Tabel 3.3. I tabellen er inkluderet aspekter som:

- formålene med recirkuleringen
- typer af infrastruktur anvendt
- varigheden af driftsperioden
- projektets skala
- opnåede væsketilførselshastigheder

Tabel 3.3, som ikke er oversat fra engelsk, viser den meget store bredde af ingeniørmæssigt design af infrastrukturen, der anvendes til recirkulering af perkolat. Tabellen viser også, at de anvendte areal- og infrastrukturbaserede tilførselshastigheder dækker et bredt variationsinterval. Det ses klart, at alle de forskellige generiske typer af infrastruktur (overfladebaseret tilførsel, nedgravede drænrør i grøfter, tildækkede drænpuder og brønde/boringer) er i stand til levere høje arealbaserede tilførselshastigheder. For eksempel svarer en arealbaseret tilførselshastighed op 50 m³/ha/dag (de enheder, der er anvendt i tabellen) til 5 mm infiltration af nedbør per dag eller 1.825 mm/år. Med andre ord kan hver generisk type af infrastruktur levere mange gange den generelle infiltrationsrate for nedbør på de fleste lokaliteter.

En beslutning om hvilken type af system, man skal vælge, behøver derfor ikke være baseret på hydraulisk ydeevne. Andre faktorer vil være vigtige og ofte stedspecifikke. For eksempel kan udsprinkling over overfladen ofte være uanvendelig eller upraktisk ved en fuldt tildækket deponeringsenhed og driften kan være mandskabs- og udstyrskrævende til jævnlig flytning af spredningsudstyret. For deponeringsenheder under opfyldning er det i nogle tilfælde ikke omkostningseffektivt at installere nedgravede drænedninger og vertikale brønde. Omvendt kan det for tildækkede enheder være simplere og lettere at automatisere drift og kontrol af recirkuleringssystemet med faste, nedgravede system som brønde og drænrør.

Den relative levetid og tendens til tilstopning af forskellige typer infrastruktur er kan fortsat ikke afklares på grundlag af offentlige tilgængelige oplysninger. Men i tilfælde, hvor tilstopning vurderes at kunne forekomme, kan overfladebaserede systemer, som er let tilgængelige og let kan fornyes eller flyttes, være et bedre valg end tildækkede rørledninger og brønde/boringer.

Der er ringe grundlag for at vælge mellem forskellige systemer af miljømæssige årsager, med mindre dannelse og spredning af aerosoler fra højtrykssprinklere på overfladen af en deponeringsenhed kan være problematisk på en given lokalitet. En af de væsentligste årsager til miljømæssig bekymring kan være risikoen for forurening af overfladevand, hvis en perkolatledning bliver utæt eller går i stykker. Denne potentielle risiko er imidlertid ikke specielt knyttet til recirkulering af perkolat, men gælder for mange perkolatopsamlingsystemer, hvor der pumpes fra forskellige brønde og enheder – der vil i nogle tilfælde være adskillige perkolattransportledninger placeret hen over overfladen af et deponeringsanlæg.

Der findes kun få projekter, hvor hovedformålet er/har været at accelerere nedbrydningen af affaldet, som klart kan vise, om formålet er blevet opfyldt. Dette synes at skyldes dels, at der er blevet recirkuleret utilstrækkelige mængder perkolat, dels at projekterne ikke har pågået længe nok, og endelig, at monitoringen ikke har været fokuseret på at detektere en forøget gasproduktion.

Med hensyn til andre formål er resultaterne mere klare:

- Med hensyn til håndtering af perkolat med høje indhold af COD er der klare beviser for, at recirkulering til ældre methanogene områder af affald er et effektivt tiltag, som f.eks. vist i forsøget på Uggeløse Losseplads.
- Med hensyn til håndtering og udjævning af perkolatvolumener, når mulighederne for bortledning af perkolat til rensning er utilstrækkelige, og med hensyn til reduktion af perkolatets indhold af $\text{NH}_4\text{-N}$, har recirkuleringssystemet ved Gerringe Miljøcenter vist sig at være effektivt.
- Med hensyn til befugtning af en stor andel af affaldet og forøgelse af dets gennemsnitlige befugtningegrad, har recirkulering af perkolat med stor injektionshastighed vist sig at være effektiv, som for eksempel ved Reno Djurs og Yolo County, mv.

Tabel 3.3: Opsummering af observerede injektionshastigheder for forskellige typer infrastruktur (adapteret fra Beaven et al, 2009 + observationer fra dette projekt).

Description of system	Scale of system	Dates and duration of re-injection	Cell area covered by injection infrastructure ha	Length (L) and/or Area (A) of injection infrastructure	Total Volume re-injected m3	Aerial recirculation rate m3/ha/day	Infrastructure injection rate T: litre/m/day W: litre/m/day P: litre/m ² /day S: litre/m ² /day	Objectives of recirculation	Reference
Low pressure surface applications									
4 Infiltration Ponds. Alachua County, Florida	Field	1990- 1992 (473 days)	~11	A:4,670 m ²	13,117	2.5	S: 5.1- 7.8		1. Reinhart 1996 2. Townsend et al 1995
Irrigation at tipping face: - From bowsers - Large spray cannon	Field						S: 10 - 40 S: 34 - 66	Various	3. Beaven et al, 2009 4. Thiel 2005
Maximum infiltration into waste with hydraulic conductivity of between 10 ⁻⁵ and 10 ⁻⁷ m/s	Theoretical			Assumes no low permeability cover, and takes no account of impact of gas flows			S: 864 to 8.6		3. Beaven et al, 2009
Cells A, B & M, shredder waste. Reno Djurs, Denmark, spray jet and open trenches, spacing 5m	Field	2010 - present	2.39		224232 (to end 2016, including clean water)	66		Manage leachate volumes, shorten the aftercare period	This study
Cells J, K & L, mixed waste. Reno Djurs, Denmark, spray jet?	Field	2011 - present	2.07		15123 (to end 2016, including clean water)	5.3		Manage leachate volumes, shorten the aftercare period	This study
Cell C, Arwos, Denmark, sled mounted spray jet	Field	Sep 2014 - present	~1.5	~120m x 120m	62,475m ³ from 23.9.14 to 17.10.17 (estimated pro rata)	~37		Manage leachate volumes	This study

Description of system	Scale of system	Dates and duration of re-injection	Cell area covered by injection infrastructure ha	Length (L) and/or Area (A) of injection infrastructure	Total Volume re-injected m ³	Aerial recirculation rate m ³ /ha/day	Infrastructure injection rate T: litre/m/day W: litre/m/day P: litre/m ² /day S: litre/m ² /day	Objectives of recirculation	Reference
Gerringe, sprinklers fed by pipeline	Field	1993 to present	2.4 currently			~41 (2015)		Manage leachate volumes	This study
Trenches and horizontal pipes									
Tyre filled covered trench, W 3m x H 1m	Field			L:30m			T: 830 litre/m.d	Manage leachate volumes	3. Beaven et al, 2009
Gravel filled trench, 20m x 0.9m x 1m; Brogborough test cell 2, UK	Pilot			L: 20m			T: 137 litre/m.d	Study hydraulics of recirculation	6. Mouchel Consulting Ltd (2001)
Deep (~ 5-7m) tyre filled trenches; liquid waste and leachate recirculation. UK	Field	(i) 1 month (ii) sustained	~15	L: 1300m	~130,000	~280	T: 3,225 T: 205-274	(i) volume management (ii) liquid waste treatment	3. Beaven et al, 2009
11 tyre-chip filled trenches with drainage pipes; spacing 15m lateral, 6m vertical. Alachua County, Florida	Field	1993-1994 (580 days)	11	L: 1738m A: ~1738m ²	30,000	4.7	T: 600 (short term) T: 29 (Long term)	Bioreactor	1. Reinhart 1996; 2. Townsend et al 1995
Perforated pipes in gravel filled trenches, 30m spacing. Pressurised. Pecan Row landfill, South Georgia.	Field	Late 1992 – early 1994 (~18 months)	4.5	L: 457 m A: 411 m ²	2700 (estimated)	1.1	T: 10 litre/m.d	Bioreactor	1. Reinhart 1996

Description of system	Scale of system	Dates and duration of re-injection	Cell area covered by injection infrastructure ha	Length (L) and/or Area (A) of injection infrastructure	Total Volume re-injected m ³	Aerial recirculation rate m ³ /ha/day	Infrastructure injection rate T: litre/m/day W: litre/m/day P: litre/m ² /day S: litre/m ² /day	Objectives of recirculation	Reference
Horizontal 32mm pipes with 2.3 mm hole every 6 metres. Spacing 8m to 12m. Yolo County Project XL Bioreactor, California	Field	2002–2005 (ongoing)	1.4	L: 2500 m A: 2500 m ²	20,800	13	T: 70 litre/m.d	Accelerated stabilization	7. Yazdani et al (2006)
		2003–2005 (ongoing)	2.4	L: 2200 m A: ~2200 m ²	17,400	11	T: 12 litre/m.d		
75mm pipe in gravel filled trenches. 5 no @ 130m long at 25m spacing. Busta, Italy	Field	August 1999 – October 2000	2.25	650 linear m of trench	2800 m ³ (over 14-month period). 1999 – 2005: ~30,000 m ³ ≡ 80 litre/t waste	~2.4	T: 10 litre/m.d	Bioreactor research	8. Barina <i>et al</i> (2001,2003)
		August 1999 to 2005		Above length increased by undercap trench system		~6.4			9. Barina (2005)
75mm pipe, 5 no @ 70m, in gravel filled horizontal trenches. Drambon, France	Field	August–October 2004	0.5	L: 350m	250	5.5	T: 8 litre/m.d	Bioreactor research	9. Barina (2005)
Perforated pipes in injection trenches: 5 x 35 m at mid height of cell and 6 x ~60 m at 90° orientation under cap. Landgraaf, NL	Field	April 2002 – April 2006	0.44	L: 535m	5800 (fresh water, equivalent to 230 litre/tonne)	9.0	T: 7 litre/m.d	Sustainable landfill research cell: flushing and stabilization	10. Woelders <i>et al</i> (2005)
8000 tonne test cell with horizontal pipes in gravel channels. CSWMC, Delaware, USA	Field	1990-1996	0.4	A: 10m x 15m = 150m ²	1920 (≡200 litre/t waste)	2.2	S: 6 litre/m ² .d	bioreactor	5. Morris <i>et al</i> (2003)

Description of system	Scale of system	Dates and duration of re-injection	Cell area covered by injection infrastructure ha	Length (L) and/or Area (A) of injection infrastructure	Total Volume re-injected m ³	Aerial recirculation rate m ³ /ha/day	Infrastructure injection rate T: litre/m/day W: litre/m/day P: litre/m ² /day S: litre/m ² /day	Objectives of recirculation	Reference
Horizontal perforated pipe in gravel filled trenches. Spacing 60m lateral, 10m vertical. Landfill 'S', USA	Field		3.6			2.3		bioreactor	18. Benson <i>et al</i> (2007)
Horizontal perforated pipe in gravel filled trenches. Spacing 18-60m lateral, 6m vertical. Landfill 'D', USA	Field		9.7			0.6		bioreactor	18. Benson <i>et al</i> (2007)
Horizontal perforated pipe in gravel filled trenches. Spacing 20m lateral, 6m vertical. Landfill 'Q', USA	Field		12.1			4.5		bioreactor	18. Benson <i>et al</i> (2007)
Horizontal perforated pipe in tyre-shred filled trenches. Spacing 15m lateral, 6m vertical. Landfill 'C', USA	Field		5.6			1.7		bioreactor	18. Benson <i>et al</i> (2007)
Horizontal perforated pipe in gravel filled trenches. Spacing 32m lateral, 11m vertical. Landfill 'E', USA	Field		17.8			2.8		bioreactor	18. Benson <i>et al</i> (2007)

Description of system	Scale of system	Dates and duration of re-injection	Cell area covered by injection infrastructure ha	Length (L) and/or Area (A) of injection infrastructure	Total Volume re-injected m ³	Aerial recirculation rate m ³ /ha/day	Infrastructure injection rate	Objectives of recirculation	Reference
							T: litre/m/day W: litre/m/day P: litre/m ² /day S: litre/m ² /day		
Modelled injection trenches For K = 1x10 ⁻⁵ m/s For K = 1x10 ⁻⁶ m/s	Model						T: 2,000-8,000 litre/m.d T: 200-800 litre/m.d		11. McCreanor and Reinhart (1999, 2000)
Modelled injection trenches For K = 1x10 ⁻⁷ m/s and Head = 0 - 5 m For K = 1x10 ⁻⁵ m/s and Head = 0 - 5 m	Model						30-130 litre/m.d 3,000-13,000 litre/m.d		12. Haydar and Khire (2005)
Cell A, Arwos, Denmark 12 buried pairs of slotted pipes at ~8m spacing	Field	Sep 2014 - present	1.0 (estimated)	L: 12 x 2 x 69m average = 1656m 6 alternate pairs in use at any time = 828m	99,497m ³ from 23.9.14 to 17.10.17 (estimated pro rata)	89	T: 107 litre/m.d (average) T: 501 litre/m.d (instantaneous)	Manage leachate volumes	This study
Randers Affaldsterminal, Denmark: 'fishbone' layout of pipes in gravel, plus shallow wells	Field	2011	Cells 4.7; wetted area ~2	L: 1450m (pipes) L: 33m (wells)	48,057 (2016)	66	T: 89 litre/m.d	Accelerated stabilization	This study
Odense Nord, Denmark. Horizontal driven gas wells	Field	2016 to present	1.0 (visual estimate)	L: 188m (visual estimate)	850 in 290 days	2.9	L: 16 litre/m.d	Accelerated stabilization	This study
Uggelose Losseplads, Denmark. Pipes laid in star-like arrangement	Field	1983 - 1984	4	L: 200m initially, extended to 300m	11,200	3.8	T: 51-77 litre/m.d	Leachate quality management	This study
Pads									

Description of system	Scale of system	Dates and duration of re-injection	Cell area covered by injection infrastructure ha	Length (L) and/or Area (A) of injection infrastructure	Total Volume re-injected m ³	Aerial recirculation rate m ³ /ha/day	Infrastructure injection rate T: litre/m/day W: litre/m/day P: litre/m ² /day S: litre/m ² /day	Objectives of recirculation	Reference
50 x 50 x 2 m tyre filled pad	Field	5 months	0.25	L: 50m x 50m A: 2500m ²	9000		P: 24 litre/m ² .d		3. Beaven et al (2009)
13 tyre filled pits at 8m spacing. Yolo County, California	Field	1994–2003 (9 years)	0.09	A: 130m ² (assumed)	8000	~27	P: 19 litre/m ² .d (assumed)	Accelerated stabilization	13. Augenstein et al (2005)
Short term tests undertaken on a 12m x 34m geocomposite blanket fed by a central 12 m perforated pipe. Applied head 2-8m	Field	7 months	0.0408	A: 408m ²			P: 21 litre/m ² .d (long term) P: 705-1,765 litre/m ² .d (short term)	Study hydraulic performance	14. Khire and Haydar (2007)
60m x 9m x 0.15m blanket of crushed recycled glass	Field and model	7 months		A: 540m ²	3200		28 litre/m ² .d (long term) 1,440 litre/m ² .d (short term)	Study hydraulic performance	15. Haydar and Khire (2007)
Wells									
4 shallow wells 2 metres into upper surface of waste; drilled at 500mm diameter; 3m head maintained	Field	>1 year	not known		Total not known. daily rates ~55m ³ /d sustained for > 1 year		W: 6,875 litre/m.d	Stimulate gas generation in dry waste	3. Beaven et al (2009)
18 injection wells at ~30m spacing. 1.5m head. La Vergne, France	Field		1.5		Total not known; typical rate 400m ³ /mth	~8.9	W: 90 litre/m.d	Bioreactor research cell	16. Bureau <i>et al</i> (2005)

Description of system	Scale of system	Dates and duration of re-injection	Cell area covered by injection infrastructure ha	Length (L) and/or Area (A) of injection infrastructure	Total Volume re-injected m ³	Aerial recirculation rate m ³ /ha/day	Infrastructure injection rate T: litre/m/day W: litre/m/day P: litre/m ² /day S: litre/m ² /day	Objectives of recirculation	Reference
134 vertical wells in 45 clusters at 15 m spacing. Heads 1-15m. New River Landfill bioreactor, Florida	Field	data 2003-2004 ongoing	4	L: 670m	17800 (to Nov 2004)	8.4	W: 50 litre/m.d (long term) W: 144-700 litre/m.d (steady state)	Accelerated stabilization	17. Jain et al (2006)
Moveable system of 12 shallow pin wells at a spacing of 10-15 metres. Applied heads up to 30m. CRSWMA, North Carolina	Field	not known	900m ²	L: Assume 24 m of well screen (assume 2 m screen per pin well)	Injection rate 100-145 m ³ /day	11.7	W: ~4,000-6,000 litre/m.d (assumed, short term) S: 110-160 litre/m ² .d		1. Reinhart (1996)
Modelled injection wells; K = 1x10 ⁻⁵ m/s	Model						W: 22-89 litre/m.d		11. McCreanor and Reinhart (1999)
Pin wells and band drains									
Percussion installed geosock (band drains) at 1m centres and alternating depths of 5m, 10m and 15m on 40m x 40m grid. UK	Field	45 days	0.16	~18 000m of drain in 1600m ² grid area	9000 Q=200 m ³ /d over 45 days	1250	11 litre/m.d 125 litre/m ² .d		3. Beaven et al (2009)

4. Diskussion

Diskussionen er opdelt i to afsnit. Den første del (afsnit 4.1) blev udarbejdet på grundlag af et rapportudkast, som omfattede størstedelen af det foregående, og som blev præsenteret på et DepoNet-møde den 16. november hos Odense Renovation A/S med henblik på diskussion. Den anden del (afsnit 4.2) er udarbejdet efter mødet og afspejler diskussionen og de input, som præsentationen på mødet gav anledning til.

4.1 Del 1: Forhold til overvejelse med henblik på diskussion

Helt overordnet synes anvendelsen af recirkulering af perkolat på de i denne sammenhæng undersøgte danske deponeringsanlæg ikke at give eller have givet anledning til væsentlige miljømæssige problemer. Selv om der på et anlæg skete et jordskred på en skrænt, blev skaden hurtigt udbedret. En sammenligning viser, at danske indpumpningshastigheder for tilbageføring af perkolat ligger inden for det variationsinterval, som ses internationalt, men i den høje ende af dette. Dette skyldes sandsynligvis, at de fleste danske deponeringsanlæg er forholdsvis små set i en international sammenhæng. Der er dog behov både plads til forbedring og behov for afklaring af forhold, som giver anledning til usikkerhed både hos operatører og myndigheder i forhold til recirkulering af perkolat.

Nogle af de forhold, som altid bør tages i betragtning i forbindelse med planlægning eller gennemførelse af recirkulering af perkolat ved deponeringsanlæg, vil kunne samles under følgende overskrifter:

- Konceptuelt procesdesign
- Monitering
- Minimering af tekniske risici
- Minimering af miljømæssige risici

Konceptuelt procesdesign

Hvad er formålet med recirkulering af perkolat ved en given deponeringsenhed, hvad er det optimale vandindhold og det optimale vand-/perkolatflow for dette formål, og hvordan kan det bedst opnås? Disse forhold bør overvejes forud for etableringen af et system til recirkulering af perkolat.

Monitering

Hvordan kan man afgøre, om man når de tekniske designmål (f.eks. flowhastigheder, injektionshastigheder) og formålene (f.eks. udtrykt som perkolatkvalitet, gasdannelse, vandindhold i affaldet)? Det vil kræve separat monitering af kvalitet og kvantitet af alle perkolatstrømme i systemet samt opstilling af en basal vandbalance for den aktuelle deponeringsenhed. Denne type data indgår i de rutinemæssige måleprogrammer ved de fleste deponeringsanlæg, men i nogle tilfælde kombineres nogle perkolatstrømme før de monitoreres, og i andre tilfælde monitoreres de slet ikke, hvilket kan gøre det vanskeligt eller umuligt at vurdere, om de ønskede effekter er opnået. For at muliggøre en egentlig vurdering af om den ønskede effekt af et recirkuleringstiltag er nået, bør alle relevante perkolatstrømme monitoreres både før, under og efter en given periode med recirkulering af perkolat. Vil det være hensigtsmæssigt at opstille minimumskrav til monitering ved recirkulering? Bør der udarbejdes en vejledning i vurdering af i hvor høj grad målet med recirkulering af perkolat opnås?

Minimering af tekniske risici

Hvordan kan tilstopning af dræn, fordelingsudstyr og andet materiel undgås (f.eks. ved at anvende filtre og store huller i fordelingsdræn som på Arwos), hvordan kan perkolatudsivning og jordskred undgås (f.eks. ved at overholde en minimumsafstand mellem grøfter og dræn og skrån timer i et de-

poneringsanlæg som på Reno Djurs)? Håndtering af risikoen for rørbrud, specielt i forbindelse med frost, kan udgøre en særlig udfordring.

Minimering af miljømæssige risici

Hvorledes kan skadelige og irreversible ændringer i perkolatkvaliteten som følge af recirkulering af perkolat undgås – specielt når det perkolat, som recirkuleres til én deponeringsenhed, består af en blanding af perkolat fra flere enheder? Dette er diskuteret i afsnit 3.4.8, og det er nævnt, at ændringer i perkolatkvalitet som følge af tilførsel af "fremmed" perkolat forventes at være en midlertidig foreteelse, som vil kunne håndteres med det eksisterende perkolatopsamlings- og behandlingssystem i perioden med recirkulering af perkolat, og som efter ophør af recirkuleringen gradvis vil vende tilbage til "normale" forhold. Det hurtige "respons", som blev observeret i perkolatet fra enhederne for shredderaffald på Reno Djurs, kunne skyldes kanaldannelse i affaldet eller simpelt hen de meget store volumener af recirkuleret perkolat, som vil være dominerende i forhold til det "naturlige" vandindhold i shredderaffaldet. Selv om det ikke nødvendigvis udgør et egentligt miljømæssigt problem, kunne effekten af at blande forskellige typer perkolat i forbindelse med recirkulering være et emne, som med fordel kunne udforskes nærmere, for eksempel gennem en nøjere vurdering af allerede foreliggende data med fokus på potentielt kritiske stoffer, eventuelt under anvendelse af hydrogeokemisk modellering. Hvis det "fremmede" perkolat stammer fra enheder med samme type affald, som findes i den enhed som tilføres perkolatet, er det ikke sandsynligt, at det resulterende perkolat fra denne enhed vil indeholde stoffer, som ikke allerede findes i dette perkolat. Hvis det tilførte perkolat stammer fra yngre deponeringsenheder og indeholder bionedbrydelige organiske stoffer og ammonium, kan recirkuleringen have en positiv effekt og reducere indholdet af disse stoffer i det resulterende perkolat som eksempelvis observeret ved deponeringsanlæggene i henholdsvis Uggeløse og Gerringe.

Recirkulering anvendes nogle gange med henblik på reduktion af perkolatmængden. Hvis der anvendes vandingskanoner, sprinklere eller åbne grøfter, vil perkolatvolumenet blive reduceret pga. fordampning og evapotranspiration. Dette kan dog medføre en opkoncentrering af opløselige konservative stoffer (f.eks. klorider, ikke-nedbrydeligt COD) i perkolatet, både ved recirkulering af en enheds eget perkolat og af blandinger af perkolat fra andre enheder. For at sikre at deponeringsenheden udvikler sig i den ønskede retning (mod en mulig afslutning af efterbehandlingen), er det nødvendigt kontinuerligt (eller i perioder) at fjerne og behandle/håndtere en vis andel af det producerede perkolat. Den mængde perkolat, som bør tages ud af cirkulation og fjernes fra en given deponeringsenhed, vil kunne beregnes/estimeres på basis af massebalancer for systemet. Det er en løbende proces, der kan afhænge af udviklingen i perkolatsammensætningen med tiden. I praksis vil mængden af infiltreret nedbør også kunne være afgørende for, hvor meget perkolat, der skal fjernes fra systemet.

I tilfælde, hvor man ved, at uønskede stoffer i perkolatet stammer fra én bestemt deponeringsenhed med affald, som afviger betydeligt fra affaldet i den/de andre enheder, kan det måske være hensigtsmæssigt ikke at lade perkolatet fra denne enhed indgå i recirkuleringen, men i stedet at håndtere det separat. Hvorvidt dette er muligt eller hensigtsmæssigt, vil for et givet deponeringsanlæg afhænge af de konkrete behandlings- og håndteringsmuligheder for perkolatet og må afgøres på grundlag af en sted-specifik vurdering.

Tabel 4.1 viser en lettere modificeret version af en checkliste, som anbefales af Beaven et al. (2009) som et nyttigt værktøj for operatører og myndigheder til en indledende evaluering af planlagte recirkuleringsprojekter. Det er medtaget her til inspiration og diskussion.

Tabel 4.1: Lettere modificeret checkliste baseret på Beaven et al. (2009)

<p>Formålet med det foreslåede recirkuleringsprojekt</p> <p>Er formålet/formålene med det foreslåede recirkuleringsprojekt klart beskrevet? Er der tale om et eller flere formål?</p>
<p>Den konceptuelle procesbeskrivelse</p> <p>Er der udarbejdet en konceptuel procesbeskrivelse? Er den konceptuelle procesbeskrivelse tilstrækkelig til at kunne opfylde det/de erklærede formål?</p>
<p>Fysisk infrastruktur</p> <p>Foreligger der en tilstrækkelig beskrivelse af den foreslåede infrastruktur? Svarer den beskrevne infrastruktur til formål og det konceptuelle procesdesign?</p>
<p>Operationelle procedurer</p> <p>Er de foreslåede/nødvendige operationelle procedurer beskrevet i nødvendig omfang?</p>
<p>Miljømæssige risici</p> <p>Er der blevet udarbejdet en fyldestgørende liste over potentielle miljømæssige risici? Er håndteringen af de enkelte potentielle risici på listen beskrevet i tilstrækkeligt omfang? Som minimum bør listen over potentielle miljømæssige risici omfatte følgende punkter:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Lugtgener og ukontrollerede gasudslip i konstruktionsfasen • Lugtgener og ukontrollerede gasudslip i driftsfasen • Kontrol af vandtrykket på membranen • Sætninger/overfladeudslip af perkolat fra affaldet • Udslip fra perkolat-rørledninger • Identifikation og vurdering af risici for forurening af overfladevand og grundvand • Risiko for overskridelse af perkolatkrav i relation til behandling/udledning • Risiko for oversvømmelse af gasledninger med perkolat og for gener for gasopsamlingen • Risiko for skred på skrån timer (geoteknisk ustabilitet)
<p>Monitering</p> <p>Er der udarbejdet en plan for monitering af miljømæssige risici? Vil den planlagte monitering sikre, at der kan beregnes vandbalancer og massebalancer for relevante stoffer? Er den planlagte monitering tilstrækkelig til at recirkuleringsprojektet kan gennemføres i planlagt omfang? Gør den planlagte monitering det muligt at afgøre, om målene med recirkuleringsprojektet opnås?</p>

4.2 Del 2: Forhold, som der blev fokuseret på under gruppediskussionen

De emner, som især vakte interesse, og som der blev udtrykt bekymring for under gruppediskussionen på DepoNet-mødet den 16. november 2017, kan stort set fordeles under følgende overskrifter:

- Effekten af recirkulering på perkolat kvaliteten
- Effekten af recirkulering på perkolathøjden over membranen og muligheden for at kontrollere den
- Forøget risiko for tilstopning som følge af recirkulering

Disse punkter, som alle indeholder elementer af et fjerde emne, som blev diskuteret, nemlig monitering og dataindsamling, behandles i det følgende.

Effekten af recirkulering på perkolatkvaliteten

Blandt de spørgsmål, som blev rejst, var følgende:

Hvilke kontrolforanstaltninger er mulige eller kunne blive gennemført med hensyn til pH, opløste salte og andre potentielt skadelige/uønskede stoffer?

Vil det kunne forlænge efterbehandlingsperioden, hvis recirkulering af perkolat over et længere tidsrum fører til øget styrke af perkolatet (på grund af accelereret nedbrydning), eller ville måske snarere være en fordel i denne sammenhæng, fordi det ville kunne bidrage til, at en række stoffer ville blive fjernet hurtigere, end de ellers ville være blevet?

Vil overførsel af perkolat mellem deponeringsenheder med forskellige affaldstyper have en skadelig indflydelse på perkolatet fra den modtagende deponeringsenhed? Vil specielt recirkulering af perkolat fra en deponeringsenhed for farligt affald til en enhed for ikke-farligt affald kunne give anledning til ændringer, som kan vanskeliggøre håndteringen af perkolatet fra enheden med ikke-farligt affald?

Blandt de forhold, som potentielt kan påvirke perkolatkvaliteten i forbindelse med recirkulering af perkolat, kan nævnes følgende:

- Introduktion af stoffer fra andre deponeringsenheder, som kan vanskeliggøre behandling og udledning af perkolat fra den modtagende celle eller øge omkostningerne hertil (f.eks. skadelige organiske stoffer, salte, som kan reagere og udfælde, metaller/sporelementer).
- Forøgede stofkoncentrationer som følge af accelereret nedbrydning (f.eks. $\text{NH}_4\text{-N}$, BOD, COD, klorid).
- Fjernelse af problematiske stoffer (f.eks. skadelige organiske stoffer, metaller) fra perkolat fra andre enheder, hvilket kan gøre behandling og bortskaffelse af dette lettere.
- Forøgede koncentrationer af organisk stof som følge af tilstrømning af acetogent perkolat fra de øvre lag af affaldet til drænlaget.
- Reduktion af koncentrationsniveauet af organisk stof på grund af tilførsel af methanogent perkolat fra ældre enheder.
- Reduktion af koncentrationsniveauet af organiske stof på grund af tilførsel af perkolat fra yngre acetogene enheder til en enhed med ældre methanogent affald.

Det materiale, som er gennemgået her og i Beaven et al. (2009) indikerer, at alle de tre sidste tilfælde kan forekomme, hvor de to sidste generelt må vurderes som gavnlige for udviklingen. For så vidt angår den tredjesidste pind, hvor der sker en (indledende) pludselig gennemstrømning af acetogent perkolat har det generelt været et forbigående fænomen, som afhænger af recirkulationshastigheden: hvis den hastighed, hvormed acetogent perkolat skylles ud af de øvre affaldslag, er for stor, vil fluxen af nedbrydeligt COD potentielt kunne overstige "behandlingskapaciteten" af den methanogene zone i de nedre lag af affaldet. Dette kunne eksempelvis være en del af årsagen til den tilsyneladende stigning i COD i perkolatet fra enhederne med shredderaffald på Reno Djurs, hvor perkolatet fra enheden med blandet affald, som havde en længere opholdstid, syntes at udvise reduktion af indholdet af COD i forhold til indholdet i det injicerede perkolat. Det vil være nyttigt at overveje, hvilke tiltag i form af

monitering og datafortolkning det vil kræve at sikre, at denne slags forøgelse af indholdet af COD og BOD i perkolatet forbliver inden for håndterbare grænser.

Hvad angår de to første pinde, så er der i dette projekt ikke fundet nogen klare beviser på skadelige konsekvenser, hverken i de tidligere oversigter over internationale erfaringer eller i de danske erfaringer, som indtil nu er indsamlet, men samtidig er det indsamlede materiale ikke tilstrækkeligt til med sikkerhed at konkludere, at sådanne konsekvenser ikke kan forekomme. Tilgængeligheden af data-sæt, som kan belyse denne problemstilling, er begrænset. På grund af den hydrauliske opholdstid for perkolatet i affaldet kan det være vanskeligt at identificere årsag og virkning, når man sammenholder tidsserier for henholdsvis det injicerede og det udgående/producerede perkolat fra en enhed med recirkulation. For mange recirkuleringssystemers vedkommende er mængden af injiceret perkolat lille sammenlignet med det vandfyldte porevolumen i recirkuleringsenheden, hvilket kan medføre, at eventuelle problematiske stoffer i det injicerede perkolat fortyndes under passagen gennem affaldet, eller det fortyndes efterfølgende på det tidspunkt, hvor eventuelt "påvirket" perkolat blandes med perkolat fra andre enheder og tilledes en fælles perkolatbrønd. Der er således behov for yderligere undersøgelse af denne problemstilling; dette kunne omfatte mere detaljerede analyser af eksisterende data, indsamling af længerevarende og mere omfattende monitoringsdata og eventuelt etablering af lysimeterforsøg i pilotskala.

Specifikt med hensyn til stoftransport mellem deponeringsenheder for henholdsvis farligt og ikke-farligt affald er det vigtigt at bemærke, at perkolat fra farligt affald ikke nødvendigvis i sig selv er farligt, og at det ikke nødvendigvis indeholder problematiske koncentrationer af de stoffer, som gav anledning til at klassificere affaldet som farligt. En mulig fremgangsmåde til håndtering af denne problemstilling i relation til recirkulering kunne være på forhånd at gennemføre en teknisk vurdering af forskellene i kvalitet af perkolatet fra henholdsvis "donor-enheden" og "modtager-enheden" med specifik reference til stoffer, der kan føre til klassificering som farligt affald.

En besvarelse af spørgsmålet om en generel forøgelse af koncentrationsniveauet i perkolatet som følge af recirkulering vil forlænge eller forkorte efterbehandlingsperioden, vil kræve yderligere uddybning. Det kan afhænge både af den tilsigtede udvaskningsstrategi og af det omfang og den hastighed, hvormed recirkulering af perkolat accelererer frigivelsen af stoffer fra affaldet til perkolatfasen. Kendskabet til det sidstnævnte er forholdsvis ringe. Det kunne måske være nyttigt at foretage en form for "screenings-modellering" af den kombinerede effekt af forskellige frigivelseshastigheder og forskellige gennemstrømnings- og udvaskningsstrategier. Dette kunne give en indikation af, om det ville være hensigtsmæssigt af gennemføre mere detaljeret modellering og/eller laboratorie-, pilotskala- eller fuldskalaforsøg. Det skal bemærkes, at de biologiske processer, som foregår i deponeret affald har vist sig at være meget robuste og forholdsvis upåvirkede af ændringer i perkolatsammensætningen.

Påvirkning af perkolathøjden over membranen og mulighederne for at styre denne

Blandt de forhold, som gav anledning til bekymring, var spørgsmålet, om recirkulering af perkolat ville føre til en **forøgelse af perkolathøjden** og dermed trykket på bunden af deponeringsenheden/membranen, og om dette (1) ville nødvendiggøre kontinuerlig monitering af perkolathøjden for at kunne beskytte mod/forhindre højere tryk, og (2) vil kunne medføre en **øget risiko for tilstopning** af drænlaget i bunden, hvorved mulighederne for at styre perkolathøjden forringes.

I det følgende diskuteres nogle tekniske overvejelser i relation til disse forhold.

I den litteratur- og erfaringsgennemgang, som Beaven et al (2009) foretog, blev der ikke fundet beviser på forøget perkolathøjde forårsaget af recirkulering; tværtimod blev der fundet beviser på, at recirkulering medvirkede til at reducere trykket på bundmembranen på grund af oppumpning af perkolat fra bunden. Dette er et resultat af, at man på en del deponeringsanlæg anvender recirkulering til at håndtere de forøgede mængder perkolat, som dannes om vinteren. Rapporten fra Beaven et al omfattede fortolkning af resultater fra et projekt, som viste, hvor stor en mængde perkolat, der kunne tilbageholdes "i transit", dvs. udover det deponerede affalds feltkapacitet, mens det langsomt strømmede ned gennem den umættede zone i affaldet. I rapporten bemærkes det, at en konsekvens af at afbryde recirkuleringen i denne situation vil være, at perkolathøjden over membranen vil stige. I det aktuelle tilfælde tog det 2 – 3 måneder for det "transiente" perkolat fuldstændig at dræne ned til bunden gennem ca. 20 m affald fra en drængrøft placeret under topafdækningen. Det skal dog bemærkes, at Reno Djurs oplyser, at man i tilfælde med recirkulering og tilstoppede slidser i bunddrænene har haft forøget perkolathøjde, som dog faldt igen, så snart drænene blev rensset ved spuling.

I nærværende projekt er forfatterne ikke stødt på andre informationer om forøget perkolathøjde på nogen af de fem/seks deponeringsanlæg med recirkulering af perkolat, som er blevet analyseret, selv om det ser ud til at være sket – og blevet korrigeret – på Edslev deponeringsanlæg, som ikke indgik i analysen. Der er dog ikke foretaget nogen specifik undersøgelse af data vedrørende perkolathøjde eller af om og i givet fald hvor, perkolathøjden måles i de individuelle deponeringsenheder med recirkulering. Det kunne derfor være hensigtsmæssigt yderligere at undersøge dette aspekt, hvis det fortsat giver anledning til bekymring.

"Drukning" af gasboringer er blevet rapporteret som almindeligt forekommende i områder af deponeringsenheder med aktiv recirkulering af perkolat. Dette har normalt været et midlertidigt fænomen, og er nogle gange blevet håndteret ved løbende at skifte mellem de områder, hvor der recirkuleres, således at gasboringerne har kunnet dræne af og igen fungere efter hensigten. Det er vigtigt at bemærke, at dette ikke er det samme som akkumulering af perkolat i en mættet zone and forøgelse af trykket på bundmembranen.

Spørgsmålet, om det vil være hensigtsmæssigt at gennemføre **kontinuert monitoring af perkolathøjden** med henblik på at sikre, at den ikke stiger uacceptabelt som følge af recirkulering, blev rejst. Dette ville nødvendiggøre installering af udstyr i observationspunkter på bundmembranen. Udstyret skal så være forbundet til en datalogger og udløse en alarm, hvis der sker en uacceptabel forøgelse af perkolathøjden. Det blev bemærket, at dette spørgsmål også er blevet stillet Storbritannien, og at kontinuert monitoring af perkolathøjden indtil videre ikke er blevet indført som et krav der.

Teknisk set vil den monitoringsfrekvens, som er nødvendig for at sikre en tidlig advarsel om en forøgelse af perkolathøjden, afhænge af, hvor hurtigt perkolathøjden ved bundmembranen og drænsystemet kan forventes at reagere på tilførsler af perkolat og/eller nedbørshændelser. Responstiden vil variere fra enhed til enhed og vil igen afhænge både af højden og egenskaberne (specielt de hydrauliske) af affaldet og af størrelsen (intensitet og varighed) af infiltrationshændelserne. En undersøgelse af en deponeringsenhed i Beddington, Storbritannien, udstyret med piezometre (trykmålere) i drænlaget over membranen, gav nyttig information i relation til dette spørgsmål (Knox og Shaw, 2006):

"....Tidsforsinkelsen for infiltrationshændelser i intervallet 20 til 50 mm for at nå bunden af ikke-tildækket affald startede med mindre end 12 timer for 2 m husholdningsaffald. Tidsforsinkelsen blev øget til ca. 2 dage, da affaldslaget var blevet 5 m tykt. På det tidspunkt tykkelsen af affaldslaget havde nået ca. 9 m, kunne nedbørshændelser af denne størrelse ikke længere observeres som et separat

respons ved bunden af affaldet, men førte i stedet til en længerevarende, langsom tilstrømning af perkolat til drænlaget over bundmembranen.”

De omtrentlige affaldsdybder og tilførselshastigheder og gennemsnitlige opholdstider for perkolat fra de analyserede danske deponeringsanlæg er beregnet ud fra de data, der er angivet i Appendix 1 til Appendix 5, og vist i Tabel 4.2 herunder.

Tabel 4.2: Estimerede perkolattilførselshastigheder og hydrauliske opholdstider for de danske deponeringsanlæg, som er blevet analyseret i denne rapport.

Deponeringsanlæg	Affaldsdybde (m)	Perkolattilførsel (mm/d)	Hydraulisk opholdstid (år)
Gerringe	~8	4,1	5,4
Reno Djurs: Enheder med shredderaffald	10	9,7*	1,0
Reno Djurs: Enheder med blandet affald	8	7,7*	4,8
Arwos: Enhed A	8	8,9	2,0
Arwos: Enhed C	5	3,7	1,3
Randers Affaldsterminal	10	6,6	≥3,6
Odense Nord	15	0,3	Ikke kendt

*Note: Perkolattilførslen ved Reno Djurs er værdier, som er estimeret under driften i arbejdstiden, og er således ikke årlige gennemsnitsværdier.

Med henvisning til de observerede tidsforsinkelser i Beddington-undersøgelsen synes det at være sandsynligt, det vil tage mindst et par dage, før de perkolattilførselshastigheder og affaldsdybder, som er fundet for de danske deponeringsanlæg, der er analyseret i dette projekt, vil give anledning til forøgelse i perkolathøjden over bundmembranen. Dette kunne eventuelt undersøges nærmere, for eksempel ved at gennemføre intensiv manuel monitoring af trykniveauet over membranen efter først en midlertidig afbrydelse af recirkuleringen af perkolat, dernæst en genoptagelse af recirkuleringen. Umiddelbart må det dog på grundlag af de ovenfor viste overslagsberegninger antages, at ændringer i perkolattrykket på bundmembranen ikke vil ske så hurtigt, at det nødvendiggør kontinuerlig monitoring.

Øget risiko for tilstopning (af drænsystemet)?

Der findes kun forholdsvis lidt publiceret information om frekvensen og omfanget af tilstopning af drænlag for perkolat eller om den hastighed, hvormed transmissiviteten drænlag aftager. På et rent spekulativt plan er det blevet hævdet (af Rainer Stegmann, under åben diskussion på Sardinia 2017)¹ at de fleste drænlag vil blive tilstoppet før eller senere, men bevismaterialet til støtte for denne hold-

¹ Stegmann R (2017) 'Discussion of landfill problems and proposals for solutions' Paper #378, Session B01, Sardinia 16th International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, October 2-6.

ning er meget ringe eller fraværende. Nogle velkendte eksempler på tilstopning af drænlag blev publiceret i 1980'erne og de tidlige 1990'ere (se f.eks. Brune et al²), og de identificerede finkornede drænmaterialer og forlængede acetogene faser som hovedårsagerne. Mange deponeringsanlæg på verdensplan er blevet konstrueret med grovkornede drænlagsmaterialer fra 1990'erne og fremover, og der foreligger efter op til 30 års erfaringer med disse ingen udbredt rapportering af problemer med tilstrækkeligt tilløb af perkolat til opsamlings- og pumpebrønde. Det skal dog bemærkes, at mange drænlag er konstrueret med langt større transmissiviteter end nødvendig for at styre og kontrollere perkolathøjden under normal perkolatdannelse; der ville derfor kunne forekomme betydelige reduktioner af transmissiviteten, uden at det i første omgang ville påvirke drænlagenes evne til at holde perkolathøjden på det ønskede niveau. Det, at der ikke er rapporteret problemer, beviser derfor ikke, at der ikke er sket nogen reduktion af transmissiviteten. Dette gør det vanskeligt at identificere specifikke beviser, som kan afgøre, om recirkulation af perkolat på et tidspunkt kan føre til tilstopning af drænlag. Fire aspekter kan give anledning til yderligere overvejelser:

(i) Ved recirkulering vil perkolatfluxen gennem drænlaget per definition være højere end uden recirkulering. Kravene til den hydrauliske ledningsevne vil derfor være større. I nogle tilfælde er recirkulerings hastigheden på årsbasis mere end en størrelsesorden højere end den "naturlige" flux. Det vil dog være mere relevant at sammenligne med den maksimal flux, som forekommer under "naturlige" forhold, dvs. i forbindelse med et kraftigt regnvejr. Det kunne være interessant at undersøge nogle scenarier med eksempler på disse maksimale fluxforhold og specifikationer på transmissivitet af drænlag med henblik på at estimere, hvor stort et ekstra "frirum" der rent faktisk vil være i den designede transmissivitet til at håndtere den ekstra flux under recirkulering og samtidig sikre kontrol med perkolathøjden.

(ii) Det bør overvejes, om recirkulering af perkolat ville kunne accelerere akkumulering af partikler i drænlaget og derved give anledning til reduktion af transmissiviteten og med tiden til funktionstab. Et projekt ved University of Southampton³ har undersøgt påstande i litteraturen (Rowe and Isaac)⁴ om at bildæk anvendt som drænmateriale i højere grad end drængrus tilstoppes af perkolat. I projektet ved Southampton University blev store mængder af methanogent perkolat – langt større mængder, end der for de fleste deponeringsenheder ville være nødvendige for at kunne afslutte efterbehandlingen – sendt gennem en række drænmaterialer. Forsøgene simulerede de organiske belastninger, man ville forvente i løbet af den fulde gennemstrømningstid for en 50 m dyb deponeringsenhed. Der blev ikke observeret nogen tilstopning i nogen af drænmaterialeerne. Det blev bemærket, at Rowe og Isaac i deres undersøgelse anvendte meget høje og forlængede belastninger med acetogent perkolat, som har et meget større tilstopningspotentiale end methanogent perkolat. Deres simuleringer repræsenterede således ikke det typiske forløb for en deponeringsenhed, fordi methanogene forhold typisk etableres tidligt i eksistensperioden for de fleste deponeringsenheder. Det skal dog siges, at hvis recirkuleringen sker med en hastighed, som forøger fluxen af acetogent perkolat fra de øvre lag af affaldet til drænlaget, vil der være en potentiel risiko for accelereret ophobning/dannelse af partikulært materiale.

² Brune, M., Ramke, H.G., Collins, H.-J., Hanert, H.-H. (1991): *Incrustation Processes in Drainage Systems of Sanitary Landfills*. In: SARDINIA '91, 3rd International Landfill Symposium, Proceedings, Vol. I, pp. 999-1035. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 14-18 October.

³ Beaven R P, Hudson A P, Knox K, Powrie W and Robinson J P (2013) 'Clogging of landfill tyre and aggregate drainage layers by methanogenic leachate and implications for practice' Waste Management 33 (2013) 431-444

⁴ Rowe, R K, and Mclsaac, R (2005). 'Clogging of tyre shreds and gravel permeated with landfill leachate.' ASCE Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 131 (6): 682-693.

Dette kan føre til større vægt på de tidligere nævnte aspekter vedrørende monitorering af perkolatkvalitet med henblik på at fastlægge, om recirkulering fører til en forøget tilførsel af nedbrydeligt COD og calcium til drænlagene. Det er ikke helt ukompliceret, og det kan anbefales, at det overvejes, hvorledes en sådan monitorering kan gennemføres.

(iii) Opdagelse eller kvantificering af en reduktion i transmissiviteten og observation af udviklingen af lokale områder, hvor tilstopning pågår, er vanskeligt, når hele systemet befinder sig under mange meter affald. Det ville være hensigtsmæssigt at undersøge, hvilke teknikker der er tilgængelige til at undersøge og kvantificere disse forhold.

- (iii) Det har i været diskuteret, om problemer med tilstopning af perkolatdræn ved bunden af deponeringsenheder forværres af den gængse praksis med at holde dem tomme, dvs. fuldt afdrænede. Et argument er, at dette medfører, at opløst kuldioxid kan undslippe fra perkolatoverfladen, og at dette vil ske i drænlaget. Frigivelse af opløst kuldioxid fører til en stigning i pH for denne type perkolat og dermed til et skift i ligevægtssystemet for karbonat-bikarbonat, som vil favorisere udfældning af calciumkarbonat, selv fra methanogene perkolater. Perkolat fra enheder for mineralsk affald, som f.eks. indeholder bioasker eller restprodukter fra affaldsforbrænding eller kulfyring, vil ofte have et højt pH og et højt indhold af calcium, vil kunne absorbere kuldioxid, som tilføres via drænsystemet, og ligeledes give anledning til udfældning af calciumkarbonat. Dette er observeret ved flere danske deponeringsenheder for højtemperaturaffald. Denne effekt vil kunne begrænses eller forhindres ved at holde drænlaget mættet til enhver tid (det skal dog bemærkes, at dette kan være forbundet med praktiske problemer, hvis gradienten over bundmembranen er stor – og hvis bunddrænet i stort omfang fungerer som transportvej for gas). Tilsvarende, hvis in-situ-”behandlingen” af acetogent perkolat til methanogent sker i drænlaget, vil det være der, at calciumkarbonat vil blive udfældet (en naturlig konsekvens af omdannelsen af organiske syrer i perkolatet under methanogenese). Det bør derfor overvejes om muligt at fastholde et lidt højere perkolatniveau i drænlagene for at holde dem mættede og dermed fremme, at enhver udfældning af calciumkarbonat vil ske i affaldslagene og ikke i drænlaget. Alternativt kunne det måske være muligt at etablere en vandlås for at forhindre adgang til atmosfæren for alkaline perkolater.

Mens ovenstående omhandler tilstopning af drænlagene over og omkring drænrørene, skal det bemærkes, at slidserne i selve drænrørene ved mange deponeringsanlæg gradvis kan tilstoppes, uanset om der recirkuleres perkolat eller ej. Nogle anlæg, herunder Reno Djurs, har derfor installeret trykmålere, som advarer, hvis perkolathøjden stiger mellem drænene, og når dette sker, gennemføres rutinemæssig rensning af drænrørene, som oftest ved spuling.

5. Mulige tiltag og yderligere undersøgelser, som dette projekt og den efterfølgende diskussion kan give anledning til

Der er behov for yderligere overvejelser omkring de påvirkninger af perkolatkvaliteten, som recirkulering af perkolat kan give anledning til: Dette kunne omfatte mere detaljerede undersøgelser og fortolkninger af eksisterende data, akkumulering af længere og mere omfattende datasæt (tidsserier), og eventuelt af gennemførelse af lysimeterforsøg i pilotskala. Konsekvenserne af at blande forskellige typer perkolat og af at recirkulere perkolat fra én type affald til en deponeringsenhed med en anden type affald vil muligvis kunne undersøges ved hjælp af hydrogeokemisk modellering. Indsamlede data som de ovennævnte vil også kunne anvendes til vurdering af de usikkerheder, som er knyttet til såvel vandbalancer som massebalancer.

Det kunne være hensigtsmæssigt at gennemføre massebalancer for at fastlægge, hvor meget af perkolatet fra en deponeringsenhed, som modtager recirkuleret perkolat, eller hvor meget af den totale tilførsel af perkolat til en central samletank, hvorfra perkolatet recirkuleres, der bør bortpumpes og behandles ("blødes" fra recirkuleringen), for at optimere opnåelsen af formålene med recirkuleringen og sikre, at stofkoncentrationerne i det bortpumpede perkolat overholder de krav, som behandlingsanlægget måtte stille. Sådanne massebalancer kunne kombineres med speciering baseret på den ovenfor nævnte hydrogeokemiske modellering.

Det ville være hensigtsmæssigt at overveje i hvilket omfang monitoring og fortolkning af data kan anvendes til at sikre, at stigninger i COD og BI5 (forårsaget af accelereret udvaskning af acetogent perkolat fra de øvre affaldslag) forbliver indenfor håndterbare grænser.

Det kan være nyttigt på overslagsniveau at modellere konsekvenserne af forskellige frigivelseshastigheder for stoffer til perkolatet i relation til forskellige gennemstrømnings- eller udvaskningsstrategier. Formålet skulle være at afgøre, om accelereret frigivelse af forurenende stoffer til perkolatet vil forlænge eller forkorte efterbehandlingsperioden. Sådanne overslagsberegninger vil kunne indikere, om mere detaljeret modellering og/eller praktiske forsøg eller feltundersøgelser med dette formål ville være nødvendige.

Det kunne være hensigtsmæssigt at foretage en nøjere undersøgelse af perkolathøjden i danske deponeringsenheder med recirkulering, inklusive hvordan, hvor og hvor ofte perkolathøjden måles i individuelle recirkuleringsenheder.

Det er måske muligt yderligere at undersøge responshastigheden af hydraulisk tryk (perkolathøjde) i forhold til recirkulering af perkolat med henblik på at belyse, om kontinuerlig monitoring af perkolathøjden vil være hensigtsmæssig. Dette kunne for eksempel omfatte perioder med intensiv manuel monitoring efterfulgt af en midlertidig afbrydelse af recirkuleringen, hvor afdræningsforløbet følges, hvorefter recirkulering og intensiv monitoring af perkolathøjden genoptages.

Det kunne være hensigtsmæssigt at undersøge nogle scenarier med eksempler på disse maksimale fluxforhold og specifikationer på transmissivitet af drænlag med henblik på at estimere, hvor stort et ekstra "frirum" der rent faktisk vil være i den designede transmissivitet til at håndtere den ekstra flux under recirkulering og samtidig sikre kontrol med perkolathøjden.

Det kunne overvejes, om og i givet fald hvorledes (ikke et trivielt problem) monitoring kan anvendes til at afgøre, om recirkulering i en given situation resulterer i en forøget flux af nedbrydeligt COD og calcium til drænlagene (begge vil forværre tilstopningen).

Det kunne være hensigtsmæssigt at undersøge, hvilke teknikker, der vil være anvendelige til at undersøge og kvantificere eventuelle tilfælde af reduceret transmissivitet af drænlagene, og til at undersøge udviklingen af lokale områder i drænlagene, hvor tilstopning pågår.

I de tilfælde, hvor det er praktisk muligt, kunne det overvejes at fastholde en lidt forøget perkolathøjde i drænlagene, således at de disse holdes i mættet tilstand, og methanogenese og udfældning af calciumkarbonat vil ske i de overliggende affaldslag frem for i drænlaget, hvorved potentialet for tilstopning reduceres. Mættede forhold i drænsystemet eller etablering af en vandlås vil desuden kunne medvirke til at forhindre udfældning af calciumkarbonat fra alkalisk perkolat fra højtemperaturreaffald.

6. Referencer

Augenstein, D., Yazdani, R., Kieffer, J. and Benemann, J., 2005a. Yolo County, California Controlled Landfill Program: a summary of results since 1994. *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management & Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy.

Augenstein, D., Yazdani, R., Kieffer, J., Sananikone, K. and Benemann, J., 2005b. Yolo County Controlled Landfill Project status after 12 years of operation. *Proceedings of 29th Annual SWANA Landfill Gas Symposium, St Petersburg, Florida, 27–30 March*.

Barina, G., 2005. Effect of leachate recirculation on the stabilisation of organic matter in municipal solid waste. *Proceedings of International Workshop Hydro-Physico-Mechanics (HPM) of Landfills*. LIRIGM, Grenoble, 21–21 March.

Barina, G., Budka, A., Gisbert, T., Guyonnet, D., Puglierin, L. and Cirino, N., 2001. Identification and assessment of leachate recirculation effects at real-scale landfill. In: Christensen, T.H., Cossu, R. and Stegmann, R. (eds), *Eighth International Waste Management and Landfill Symposium, Proceedings Sardinia 2001*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, CISA, vol. II, pp. 95–104.

Barina, G., Gisbert, T., Puglierin, L., Boin, B., Lefebvre, X. and Gemignani, A., 2003. Integrated study of waste characteristics, effluents and waste mass evolution after 4 years of large scale recirculation. In: Christensen, T.H., Cossu, R. and Stegmann R. (eds), *Ninth International Waste Management Symposium, Sardinia 2003*. Cagliari, Italy.

Barina, G., Oberti, O. and Budka, A., 2005. Leachate recirculation by horizontal trenches: a new French experience. In: Cossu, R. and Stegmann, R. (eds), *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 3–7 October 2005. CISA, Italy.

Beaven R.P, Knox K. and Powrie W (2009) 'Assessment of Issues Relating to Leachate Recirculation'. Final report to the EA under research Contract P1-516/3b, by the University of Southampton and Knox Associates. Science Report SC030144/R6 . Environment Agency, Bristol.

Benson, C.H., Barlaz, M.A., Lane, D.T. and Rawe, J.M., 2007. Practice review of five bioreactor/recirculation landfills. *Waste Management*, 27 (1), 13-29.

Bureau, N., Aran, C. and Hebe, I., 2005. Bioreactor monitoring: assessment of performances. In: Rathje, E.M. (ed.), *Proceedings Geo-Frontiers 2005*, Austin, Texas, 24–26 January – Geotechnical Special Publications Nos. 130–142. ASCE, Austin, Texas.

Christiansen, K., Prismo, M. and Skov, C., 1985. Undersøgelse af lossepladser selvrensende effekt ved recirkulering af perkolat. Report on project carried out by Enviroplan A/S. DTB m 002617269.

COWI, 2016. Recirkulation af perkolat. Redegørelse 2016. Note for Reno Djurs I/S dated 21 December 2016.

Haydar, M.M. and Khire, M.V., 2005. Leachate recirculation using horizontal trenches in bioreactor landfills. *Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering*, 131 (7), 837–847.

Haydar, M.M. and Khire, M.V., 2007. Leachate recirculation using permeable blankets in engineered landfills. *Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering*, 133 (4), 360–371.

Jain, P., Powell, J., Townsend, T.G. and Reinhart, D.R., 2006. Estimating the hydraulic conductivity of landfilled municipal solid waste using the borehole permeameter test. *Journal of Environmental Engineering-ASCE*, 132 (6), 645–652.

Khire, M.V. and Haydar, M.M., 2007. Leachate recirculation in bioreactor landfills using geocomposite drainage material. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 133 (2), 166–174.

Knox K and Shaw P.J (2006) 'A study of the hydraulic response of landfills to infiltration events.' Waste 2006, Sustainable Waste and Resource Management, Stratford upon Avon, The Waste Conference Limited. pp411-420

LANDSS: <https://landss.soton.ac.uk/> Web site of the University of Southampton decision support system for landfill aftercare.

McCreanor, P.T. and Reinhart, D.R., 1999. Hydrodynamic modelling of leachate recirculating landfills. *Waste Management & Research*, 17 (6), 465–469.

McCreanor, P.T. and Reinhart, D.R., 2000. Mathematical modelling of leachate routing in a leachate recirculating landfill. *Water Research*, 34 (4), 1285–1295.

Mouchel Consulting Ltd, 2001. The Brogborough Test Cells: Final Report, Gas Monitoring and Hydraulics of Leachate Recirculation. Environment Agency, R&D Technical Report: HOCO-231/1. Contract no: P1-352. 122 pp.

Morris, J.W.F., Vasuki, N.C., Baker, J.A. and Pendleton, C.H., 2003. Findings from long-term monitoring studies at MSW landfill facilities with leachate recirculation. *Waste Management*, 23 (7), 653–666.

Pohland, F.G., 1975. *Sanitary Landfill Stabilization with Leachate Recycle and Residual Treatment*. US Environmental Protection Agency, Cincinnati, Ohio, EPA-600/2-75-043.

Reinhart, D.R., 1996. Full-scale experiences with leachate recirculating landfills: case studies. *Waste Management & Research*, 14 (4), 347–365.

Reinhart D R and Townsend T G (1998) 'Landfill Bioreactor design and operation' CRC Press, ISBN 1-56670-259-3.

Reyes, S., Powrie, W. and Darqui, M. (2011) Minimum leachate recirculation rates for aerobic and anaerobic degradation in pilot scale waste landfill cells, Sardinia 2011, paper 669.pdf, Thirteenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margharita di Pula, Italy, 3-7 October, 2011.

Skhiri, N., Guerbois, M. and Hebe, I., 2006. Technical and environmental performances assessment for a bioreactor. In: Lagerkvist, A. (ed.), *ICLRS 06 – Abstract Proceedings of the 4th Intercontinental Landfill Research Symposium*. Gallivaere, Sweden, pp. 183–184

Thiel, R., 2005. Observed benefits and problems associated with leachate recirculation. *Proceedings Sardinia 2005 10th International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 3–7 October 2005, CD only.

Townsend, T.G., Miller, W.L. and Earle, J.F.K., 1995. Leachate recycle infiltration ponds. *Journal of Environmental Engineering*, 121 (6), 465–471.

Woelders, H., Luning, L., Van Velthoven, F., Hermkes, H. and Oonk, H., 2005. Dutch Sustainable Landfill Research program: four years experience with the bioreactor test cell Landgraaf. In: Cossu, R. and Stegmann, R. (eds), *Proceedings Sardinia 2005, Tenth International Waste Management and Landfill Symposium*. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 3–7 October 2005. CISA, Italy.

Yazdani, R., Kieffer, J., Sananikone, K. and Augenstein, D., 2006. Full scale bioreactor landfill for carbon sequestration and greenhouse emission control. Final Technical Progress Report. *Yolo County, Planning and Public Works Department*. D.O.E. Award Number DE-FC26-01NT41152 <http://www.yolocounty.org/recycle/bioreactor.htm>

Bilag 1

Recirkulering ved Miljøcenter Gerringe

Recirkulering af perkolat ved Miljøcenter Gerringe

Baggrund og formål

Med hensyn til perkolathåndtering består deponeringsanlægget ved Miljøcenter Gerringe af én stor enhed med et samlet areal på 120.000 m² (Enhed A). Den blev først etableret i 1974, og den blev godkendt af myndighederne i 1983, da I/S REFA overtog driften af anlægget. Jorden under enheden består af naturligt ler, og den blev oprindeligt anlagt uden perkolatopsamlingsystem. I 1993 blev der etableret en 1.240 m lang vertikal lermembran langs hele omkredsen af enheden, og et drænsystem til opsamling af perkolat blev anlagt på indersiden af lermembranen. Drænsystemet er forbundet med en pumpebrønd og et 12.000 m³ perkolatbassin, stadig inden for arealet omkredset af lermembranen.

Deponeringsenheden blev udgravet i moræneleren i to omgange til en dybde af ca. 5 m under havniveau og efterfølgende over en årrække fra 1974 næsten til i dag fyldt op med blandet affaldet til forskellige højder med skråninger, der er blevet dækket med overjord og bevoksning. Der findes en opadrettet hydraulisk gradient i lerlaget i bunden, og det antages, at en grundvandsmængde svarende til omkring 10 mm/år siver ind i deponiet (DanWS, 2017). I alt 998.821 tons affald blev deponeret på Miljøcenter Gerringe fra 1974 til og med 2016 (I/S REFA, 2017). Fra 1974 til 1983 blev der modtaget husholdningsaffald, men derefter – med undtagelse af spildevandsslam, som blev tilført indtil 2000 – er der kun modtaget blandet affald i Enhed A. Luftfotoet i Figur 1 viser Enhed A ved Gerringe med perkolatopsamlingsbassinet i det øverste venstre hjørne, og den nuværende (2017) placering af perkolatudsprinklingsudstyret er angivet i det nederste højre hjørne (med rødt).



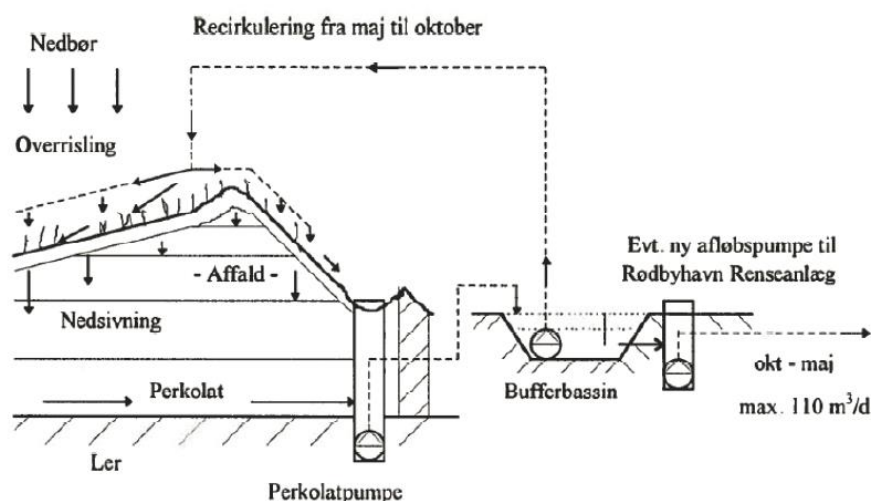
Figur 1: Flyfoto af enhed Deponeringsenhed A ved Miljøcenter Gerringe (Andersen, 2017).

Recirkuleringen af perkolat blev påbegyndt i 1993 og er blevet fortsat i perioden maj til oktober hvert år siden på overfladen af de forskellige dele af enheden, efterhånden som de er blevet opfyldt. Fra starten var formålet med recirkuleringen at bortskaffe det meste om ikke hele mængden af perkolat (ved evapotranspiration), så perkolatet ikke skulle pumpes til det lokale spildevandsrensningsanlæg (hvor det var uønsket). Dette blev anført som en betingelse i den oprindelige miljøgodkendelse af de regionale myndigheder, da drænsystemer blev godkendt. Recirkuleringen viste sig imidlertid at være utilstrækkelig som perkolatbehandling, og siden 1997 er perkolatet blevet tilført spildevandsrens-

ningsanlægget om vinteren og foråret (fra november til april). Det skal bemærkes, at deponeringsanlægget fortsat ikke må pumpe perkolat til spildevandsrensningsanlægget fra maj til oktober. Fra starten har det også været hensigten, at recirkuleringen skulle udgøre en forrensning af perkolatet gennem oxidation af ammonium på overfladen og efterfølgende denitrifikation til frit kvælstof under passagen gennem affaldet (Rambøll, 2011).

Teknisk beskrivelse af recirkuleringen af perkolat

Perkolatet pumpes fra opsamlingstanken til et sprinklersystem, som er blevet flyttet rundt på overfladen af det deponerede affald til nyligt opfyldte områder. Figur 2 viser princippet i systemet (Rambøll, 1996), og Figur 3 viser den aktuelle placering af sprinklersystemet. dybden af affaldet i denne del af enheden varierer fra 4 til 10 m (skrånende opad mod nord).



Figur 2: Princippet i perkolatrecirkuleringssystemet på Miljøcenter Gerringe (Rambøll, 1996).



Figur 3: Den aktuelle placering af perkolatudsprengningssystemet ved Gerringe (Andersen, 2017).

I øjeblikket pumpes perkolatet fra en pumpestation ved perkolatbassinet til fordelingsrørene, der vist med rødt i Figur 1 og Figur 3. De to parallelle fordelingsrør er 70 – 80 m lange, følger skråningen nedad, med fem sprinklerenheder placeret med nogenlunde ens afstand langs hver rør. Sprinklerenhederne udsender stråler af perkolatet fra en højde af ca. 1,6 m over terræn. Som det ses af Figur 4, er det oversprinklede område dækket af en frodig bevoksning. I Figur 4 ses en sprinklerenhed (ikke præcis den type, som er anvendt ved Gerringe), et sprinklerhoved og forbindelsesrørene fra perkolat-tilførselsledningen til de parallelle fordelingsledninger.

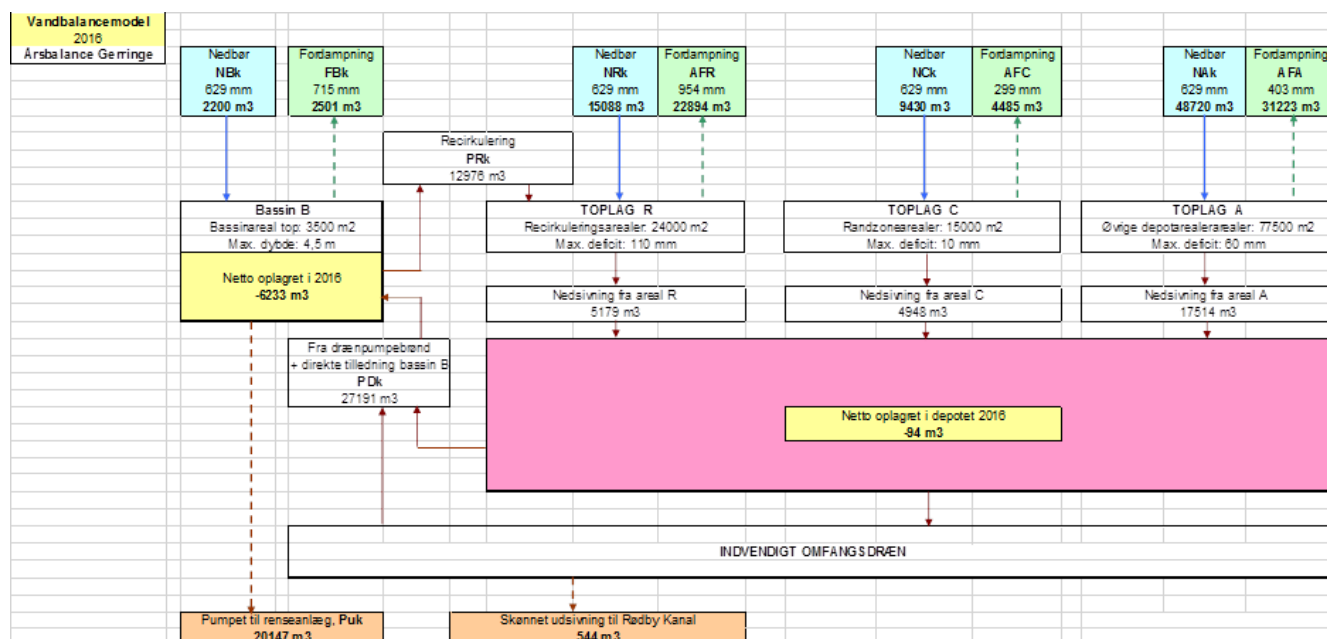
Recirkuleringen standses midlertidigt, når mængden af perkolat, der pumpes fra omfangsdrænet til perkolatbassinet, modsvarer eller overstiger mængden af perkolat, der recirkuleres til sprinklerne.



Figur 4: Elementer af recirkuleringssystemet ved Miljøcenter Gerringe. Øverst tv.: En sprinklerenhed (ikke same type som anvendt ved Gerringe). Øverst th.: Et sprinklerhoved på Gerringe deponeringsanlæg. Nederst: Forbindelsesrørene til hver af de parallelle fordelingsrør. Fotos: Andersen (2017).

Vand-/perkolatbalancer

Fra vandbalanceberegningerne for 2016 modtaget fra Miljøcenter Gerringe (se Figur 5), fremgår det, at der blev recirkuleret 12,976 m³ perkolat til overflade af deponeringsenheden på ca. 24.000 m². Nedbøren over dette areal var 15.088 m³, den beregnede evapotranspiration var 22,894 m³, svarende til en samlet årlig infiltration på ca. 5.200 m (under hensyntagen til, at recirkuleringen kun fandt sted fra maj til oktober). In 2015 blev der recirkuleret 14.899 m³ perkolat.



Figur 5: Årlig vandbalance for 2016 for Enhed A ved Miljøcenter Gerringe (Andersen, 2017).

Tabel 1 viser nedbøren og de totale mængder perkolat, some blev sendt til rensningsanlæg fra 2012 til og med 2016. Der er en betydelig variation fra år til år i mængden af perkolat, der er sendt til rensning (meget større ende variationen i nedbøren). Dette skyldes, at andre klimatiske faktorer end årlig nedbør (såsom temperatur og intensitet og fordeling af nedbøren over tid) påvirker evapotranspirationshastigheden (Andersen, 2017).

Table 1: Årlig nedbør og perkolatmængder sendt til rensningsanlæg (DanWS, 2017).

År	Nedbør (korrigeret)	Perkolat sendt til spildevandsrensningsanlæg	
	mm/år	m ³ /år	mm/år
2012	635	15.666	131
2013	654	14.430	120
2014	763	7.538	63
2015	678	22.751	190
2016	629	20.147	168

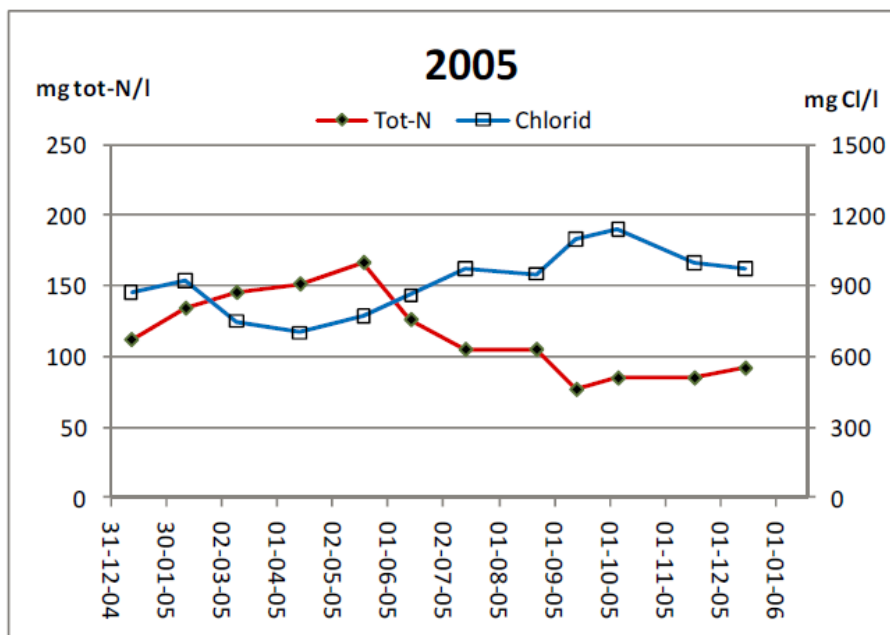
Udfordringer og eventuelle tiltag

Recirkuleringen af perkolat ved Miljøcenter Gerringe har ikke medført nogen væsentlige udfordringer (Andersen, 2017). Udsprinklingen af perkolat standses om natten og i stærk vind. Der har ikke været nogen tilfælde af jordskred på skråninger.

Opfyldelse af formålet med recirkuleringen

Siden perkolat fra Miljøcenter Gerringe ikke kan sendes til rensningsanlæg gennem sommer- og efterårsmånederne, og systemet til recirkulering af perkolat medfører, at dette forbud kan overholdes (og har gjort det i 24 år), forekommer rimeligt at sige, at formålet er opfyldt.

Fordi der kontinuerligt er blevet deponeret nyt affald på enheden, kan det være vanskeligt at bestemme langtidseffekter af recirkuleringen på perkolatkvaliteten. Som påpeget af Rambøll (2011) er der dog stærke indikationer på, at der hvert år i sommermånederne sker fjernelse af ammonium ved nitrifikation og denitrifikation som følge af recirkuleringen af perkolat. Figur 6 viser variationen af koncentrationen af total-N og klorid i perkolatet gennem 2005, hvoraf det fremgår, at kloriden i nogen grad akkumulerer i recirkuleringsperioden, mens koncentrationen af total-N reduceres i samme periode pga. omdannelse til frit kvælstof (N_2). En lignende tendens ses for de fleste andre år, selv om en mindre hyppig prøvetagning og analysering af perkolatet har gjort billedet mindre detaljeret fra 2007 og fremover. Rambøll (2011) skønner, at recirkuleringen af perkolatet gennem sommermånederne har medført en samlet reduktion på ca. 20 % af den totale mængde N i perkolatet, som i vinter- og forårsmånederne leveres til spildevandsrensningsanlægget.



Figur 6: The variation of koncentrationen af klorid og total-N i perkolat i perkolatbassinet (Rambøll, 2011).

Analyse af data

Arealet, hvorover perkolatet udsprinkles, har et godt vegetationsdække med dominans af *Phragmites* sp., som det fremgår af fotografierne i Figur 4. Det vides fra mange års erfaringer med sådanne arealer, både vådområder og tilplantede områder, at de har en væsentlig kapacitet for fjernelse af NH_4-N , BI_5 og opløst methan.

De modtagne data for 2015 vedrørende deponeringsenheden ved Miljøcenter Gerringe er i Tabel 2 anvendt til at estimere fjernelseshastigheden for NH_4-N til sammenligning med litteraturværdier.

Tabel 2: Estimering af fjernelseshastighed mv. for $\text{NH}_4\text{-N}$ fra perkolatet ved Miljøcenter Gerringe, baseret på data for 2015.

	Værdi	Enhed
Systembeskrivelse		
Befugtet/oversprinklet areal af deponeringsenheden	24.000	m ²
Driftsdata		
Volumen af perkolat recirkuleret i maj – september 2015	14.899	m ³
Varighed af recirkuleringsperioden maj - september	153	d
Gennemsnitlig $\text{NH}_4\text{-N}$ -koncentration i recirkuleret perkolat (antaget ud fra Figur 6)	150	mg/l
Gennemsnitlig $\text{NH}_4\text{-N}$ -koncentration i fraført perkolat (antaget ud fra Figur 6)	80	mg/l
∴ Gennemsnitlig fjernelse af $\text{NH}_4\text{-N}$	70	mg/l
∴ Tilførelshastighed for $\text{NH}_4\text{-N}$ [flow x concentration/areal]	0,61	gN/m ² /dag
Beregnet $\text{NH}_4\text{-N}$ -fjernelseshastighed	0,28	gN/m ² /dag
Overordnede hydrauliske data og $\text{NH}_4\text{-N}$-fjernelseshastigheder		
Antaget årligt perkolatvolumen [365dage x ~100m ³ /dag]	36.500	m ³ /år
Antaget porevolumen af 1 M tons affald (ca. 40 % w/w)	400.000	m ³
Dette giver en gennemsnitlig hydraulisk opholdstid	11	years
Gennemsnitlig in-situ $\text{NH}_4\text{-N}$ - koncentration	150	mg/l
Beregnet $\text{NH}_4\text{-N}$ -mængde i porevandet i affaldet	60	tons N
Skønnet mængde $\text{NH}_4\text{-N}$ fjernet med perkolatet, der sendes til spildevandsrensningsanlæg	5,5	tonsN/år
Årlig $\text{NH}_4\text{-N}$ -fjernelse via oversprinkling af bevokset skråning [~15.000 m ³ x 70 g/m ³]	1,05	tonsN/år
Perkolattilførelshastigheder mv.		
Gennemsnitlig affaldsdybde [1M tons /12hektar], antag 1t/m ³	8,3	m
Perkolattilførelshastighed på aktuelt område [Perkolatvolumen/(areal x periode)]	4,1	mm/d
Tilsvarende årlig perkolattilførelshastighed	1.481	mm/a
Recirkuleret perkolatvolumen i 2015 som ækvivalent vanddybde	621	mm
Porevolumen af recirkulationsarealet [24.000m ² x 8.3m x 40% H ₂ O]	80.000	m ³
Beregnet hydraulisk opholdstid i området med recirkulering	5,4	år

Prøverne, der ligger til grund for Figur 6 er taget fra perkolatbassinet, der modtager alt perkolat fra enheden. Vandbalancen i Figur 5 indikerer, at det volumen, som tilføres recirkuleringsområdet ("Toplag R") ligger lige under 50 % af den totale perkolatmængde fra enheden, mens det volumen, der afdræner fra område "R" er ~20% af den totale mængde perkolat, der drænes fra enheden. Det er derfor sandsynligt, at den faktiske fjernelseshastighed for $\text{NH}_4\text{-N}$ fra det perkolat, der recirkuleres til nedsivningsområdet er større end den tilsyneladende fjernelseshastighed vist i Tabel 2 (0,28 gN/m²/dag), formentlig tættere på 0,6 gN/m²/dag.

Dette kan sammenlignes med data for vådområde-rensningsystemer. For eksempel har Robinson (2017) rapporteret de følgende intervaller for fjernelse af NH₄-N ved to vådområder i UK:

- (i) Monument Hill. Sommer: 0,65 – 1,35 gN/m²/dag
Vinter 0,55 to 1,10 gN/m²/dag

- (ii) Shirley Sommer 0,9 to 1,0 gN/m²/dag
Vinter 0,4 to 0,5 gN/m²/dag

Det ses, at fjernelseshastighederne for NH₄-N ved Miljøcenter Gerringe er af samme størrelsesorden som de ovenfor nævnte. Den bevoksede skråning ser ud til at fjerne omkring 20 % af den årlige mængde NH₄-N, som fjernes fra deponeringsenheden med perkolatet.

References

Andersen (2017): Personal information from Susanne Bidstrup Andersen, I/S REFA, Oktober 2017.

DanWS (2017): Miljøteknisk beskrivelse. Miljøcenter Gerringe. Document prepared on behalf of I/S REFA.

I/S REFA (2017): Gerringe, PRTR-beregning. Excel-sheet.

Rambøll (1996): Gerringe Losseplads – Forrensning af perkolat. Notat til I/S REFA.

Rambøll (2011): Revurdering af recirkulering af perkolat på Gerringe Deponeringsanlæg. Notat til I/S REFA.

Robinson, T. (2017): 'The use of reed beds for treatment of leachate at closed landfill sites' Proc. Sardinia 2017, Sixteenth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy. Paper #474.

Bilag 2

Recirkulering ved Reno Djurs' deponeringsanlæg ved Glatved

Recirkulering af perkolat på Reno Djurs I/S' deponeringsanlæg ved Glatved

Baggrund og formål

Den følgende beskrivelse er i stort omfang baseret på et notat og en rapport udarbejdet af COWI (2016a og 2017), på data i excel-filer stillet til rådighed af Reno Djurs og på interviews med Henrik Rolsted og Peter Lindequist Madsen fra Reno Djurs. Dataene er efterfølgende blevet reduceret fra månedsbasis til årsbasis og anvendt til at beregne nøgleparametre og indikatorer for drift og ydelse, som kan diskuteres og sammenholdes med erfaringer fra andre deponeringsanlæg med recirkulering af perkolat.

På Reno Djurs er der blevet deponeret shredderaffald på sektion II, A-4, og blandet affald på sektion II, A-4 siden 2009 (se Figur 1). Fra 2010 til 2014 er der blevet tilsat rent vand til shredderaffaldet på deponeringstidspunktet. Siden 2012 er perkolat blevet recirkuleret fra en central opsamlingsstank og tilsat shredderaffaldet efterhånden som det er blevet deponeret. Fra 2011 til 2016 blev mindre mængder vand tilsat det blandede affald, mens det blev deponeret, og fra 2012 er perkolat fra den centrale opsamlingsstank blevet recirkuleret til det blandede affald under indfyldningen.

Hovedformålet med recirkuleringen af perkolat på Reno Djurs er at sikre et optimalt og homogent vandindhold i det deponerede affald og derved forbedre betingelserne både for fremtidig infiltration og perkolerings af nedbør (og tilsat vand/perkolat) gennem affaldet og for biologisk nedbrydning og udvaskning af affaldet. I den sidste ende forventes dette at føre til en minimering af efterbehandlingsperioden (COWI, 2017).



Figur 1: Oversigtsplan over Reno Djurs' deponeringsanlæg, der viser section II, A-1 (enhederne A, B og M med shredderaffald) og section II, A-4 (enhederne J, K og L med blandet affald).

Teknisk beskrivelse af recirkuleringen af perkolat

Perkolat fra den centrale samletank recirkuleres til overfladen af enhederne A, B og M (sektion II, A-1 i Figur 1), som modtager shredderaffald (klassificeret som farligt affald), og overfladen af enhederne J, K og L (sektion KK, A-4 i Figur 1), som modtager blandet (ikke-farligt) affald. Den centrale samle-tank modtager perkolat fra enhederne A, B, M, J, K, L og H+I (mineralsk affald inklusive PCB-kontamineret B&A-affald). På grund af en vis grad af fysisk overlapning og vanskeligheder med at skelne mellem mængderne af rent vand og perkolat tilført de enkelte enheder, er vandbalancerne i det følgende kombineret for hver affaldstype (A+B+M for shredderaffald og J+K+L for blandet affald).

Tabel 1 viser nogle informationer om de enheder, til hvilke der recirkuleres perkolat.

Tabel 1: Information om de enheder, der modtager recirkuleret perkolat. Højden er beregnet under antagelse af en bulkvægtfylde af affaldet på 1 ton/m³.

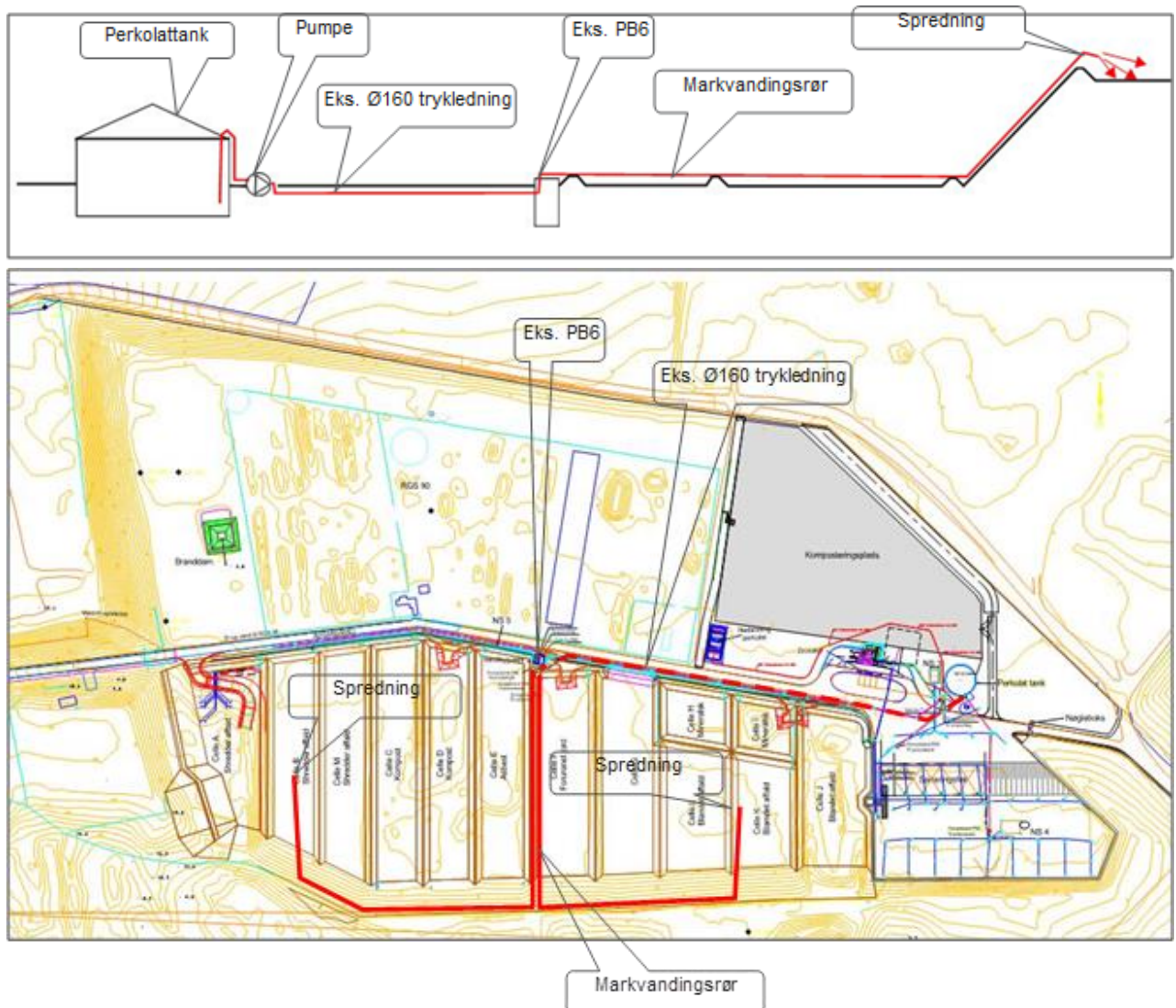
Enhed(er)	Affaldstype	Start på deponering	Omtrentligt areal	Status ultimo 2016	
				Mængde af affald deponeret	Gennemsnitlig højde
			m ²	tonnes	m
A	Shredderaffald	12/03/2009	8730		
B		30/05/2011	7207		
M		24/02/2014	7984		
A+B+M			23921	245680	10,3
J	Blandet affald	13/07/2009	8301		
K		04/07/2011	5688		
L		06/05/2015	6730		
J+K+L			20727	162574	7,8

Specielt på enhederne A og B blev der i perioden 2010 til og med 2012 udsprøjtet rent vand oven på det nyligt udlagte shredderaffald ved hjælp af en tankvogn med en spredningsanordning (se Figur 2). Fra 2012 til og med 2014 blev den samme metode anvendt til at udsprede perkolat fra den centrale opsamlingsstank over det affald, som blev deponeret på enhederne A, B, J og K.



Figur 2: Udspredding af rent vand over nyligt deponeret shredderaffald på Reno Djurs ved hjælp af en tankvogn i 2010.

Fra 2015 er perkolat fra den centrale tank blevet oppumpet til to mobile spredningsanordninger placeret henholdsvis på enhederne B+M og J+K+L. Pumpen, perkolatledningerne og spredningssystemerne er projekteret til yde en kapacitet, som sikrer at der kan udsprinkles 32 m³ perkolat per time over et areal på omkring 10 m x 10 m fra de sidstnævnte. Når affaldet ankommer bliver det placeret inden for dette areal og befugtet, hvorefter det skubbes på plads med en dozer. Når en enhed er blevet helt opfyldt med affald, bliver der udgravet parallelle grøfter i overfladen af affaldet (ca. 1,5 m brede og 1,5 m dybe) med en svag langsgående hældning. De holdes derefter ved hjælp af en tilførselslange fyldt med recirkuleret perkolat fra den centrale tank. Grøfterne er hydraulisk forbundet på tværs, så perkolatet kan løbe fra den ene grøft til den næste. Indtil nu (2017) er der blevet etableret grøfter på enhed A. Det er ikke muligt at skelne mellem perkolat tilført ved hjælp af henholdsvis spredningsanordninger og grøfter. Figur 4 viser en af spredningsenhederne, der anvendes til recirkulere perkolat til netop ankommet affald, mens grøfterne på overfladen af den opfyldte enhed A kan ses på Figur 5.



Figur 3: Oversigt over perkolatpumpesystemet, der anvendes til recirkulering af perkolat ved Reno Djurs (COWI, 2014).



Figur 4: Perkolatspredningsanordningerne ved Reno Djurs (fra Rolsted and Rosendal, 2016).



Figur 5: Grøfter til recirkulering af perkolat på overfladen af deponeringsenhed A med shredderaffald ved Reno Djurs (fra Rolsted and Rosendal, 2016).

Vand-/perkolatbalancer

På basis af den tilgængelige information er der estimeret akkumulerede årlige vandbalancer fra 2009 til og med 2016 for recirkulering af perkolat til enhederne A+B+C (shredderaffald) i Tabel 2 og for recirkulering af perkolat til enhederne J+K+L (blandet affald) i Tabel 3.

Tabel 2: Akkumulerede årlige vandbalancer for recirkulering af perkolat til enhederne A+B+M.

Vandbalancer for recirkulering af perkolat til enhederne A+B+M (shredderaffald) ved Reno Djurs									
År	Akkumuleret infiltration af nedbør	Akkumuleret mængde af tilført rent vand	Akkumuleret mængde af recirkuleret perkolat	Akkumuleret total mængde vand og perkolat tilført	Akkumuleret mængde perkolat fraført	Akkumuleret mængde affald deponeret	Vand opmagasineret i affaldet *		Akkumuleret L/S baseret på fjernet perkolat
	m3	m3	m3	m3	m3	tonnes	m3	%	m3/ton
2009	2.427	-	-	2.427	1.655	27.467	772	2,8	0,06
2010	7.106	5.374		12.480	7.376	51.973	5.104	9,8	0,14
2011	10.086	15.014		25.100	17.853	91.451	7.247	7,9	0,20
2012	15.632	23.613	11.201	50.446	32.595	138.606	17.851	12,9	0,24
2013	19.090	23.967	27.133	70.190	47.733	163.881	22.457	13,7	0,29
2014	26.201	24.698	55.757	106.656	76.548	200.105	30.108	15,0	0,38
2015	31.751	24.698	113.619	170.068	127.707	222.081	42.361	19,1	0,58
2016	36.057	24.698	163.477	224.232	184.635	245.680	39.597	16,1	0,75

*NB: Der er ikke taget hensyn til fordampning af perkolat og rent vand under tilførsel og fra grøfter

Tabel 3: Akkumulerede årlige vandbalancer for recirkulering af perkolat til enhederne J+K+L.

Vandbalancer for recirkulering af perkolat til enhederne J+K+L (blandet affald) ved Reno Djurs									
År	Akkumuleret infiltration af nedbør	Akkumuleret mængde af tilført rent vand	Akkumuleret mængde af recirkuleret perkolat	Akkumuleret total mængde vand og perkolat tilført	Akkumuleret mængde perkolat fraført	Akkumuleret mængde affald deponeret	Vand opmagasineret i affaldet *		Akkumuleret L/S baseret på fjernet perkolat
	m3	m3	m3	m3	m3	tonnes	m3	%	m3/tonne
2009	1.461	-	-	1.461	972	15.494	489	3,2	0,06
2010	5.910			5.910	2.859	38.947	3.051	7,8	0,07
2011	8.565	127		8.692	5.199	64.300	3.493	5,4	0,08
2012	13.433	1.684	588	15.705	6.938	81.825	8.767	10,7	0,08
2013	16.892	1.783	3.752	22.427	11.053	97.224	11.374	11,7	0,11
2014	22.406	2.001	7.530	31.937	16.734	117.196	15.203	13,0	0,14
2015	27.006	2.093	10.173	39.272	22.366	139.726	16.906	12,1	0,16
2016	31.088	2.107	13.016	46.211	29.512	162.574	16.699	10,3	0,18

*NB: Der er ikke taget hensyn til fordampning af perkolat og rent vand under tilførsel og fra grøfter

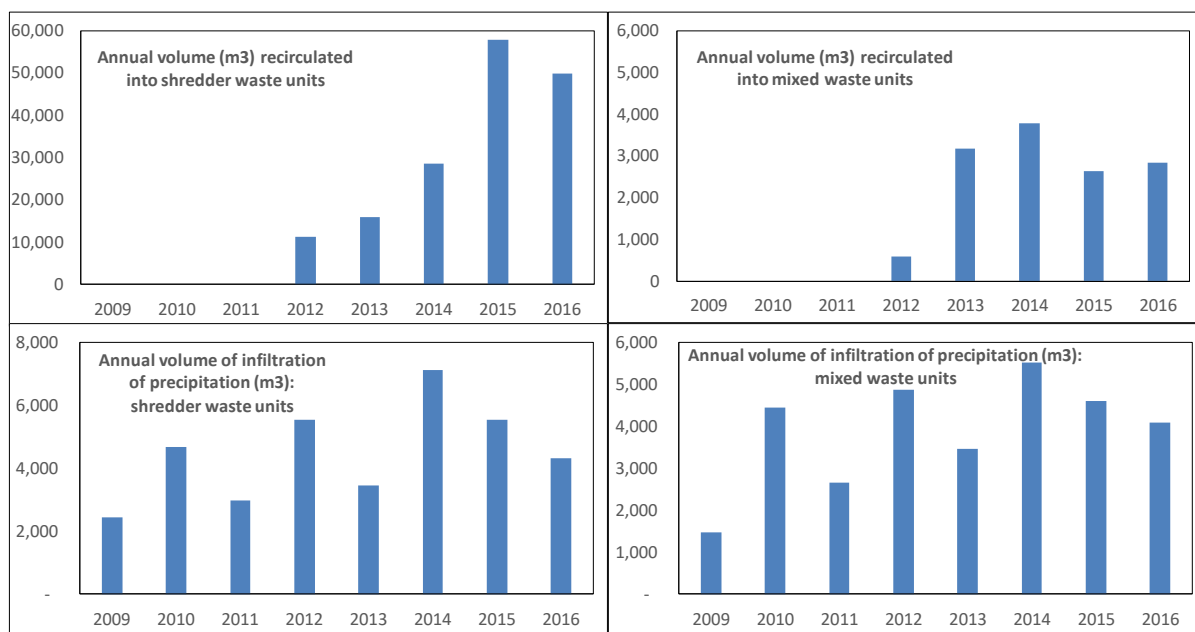
Af Tabel 2 kan det ses, at recirkuleringen af perkolat til shredderaffaldet har været meget effektiv med hensyn til at forøge gennemstrømningen af affaldet. Ved slutningen af 2016 var den samlede L/S-værdi baseret på fraført perkolat steget til 0,75 m³/ton (= l/kg). L/S baseret alene på infiltration af nedbør (og uden at medregne vand opmagasineret i affaldet) ville have været ca. 0,15 m³/ton. Den beregnede opmagasineret af vand i affaldet er forholdsvis høj ved slutningen af 2016 (ca. 16 %), men det betydelige tab fra fordampning under udsprinkling af perkolat og fra perkolatoverfladerne i grøfterne er ikke blevet medregnet. Derfor kan den faktiske opmagasineret af vand i affaldet være noget mindre end vist i Tabel 2.

Tabel 3 viser, at recirkuleringen af perkolat til det blandede affald (endnu) ikke har været en lige så dominerende factor i vandbalancen, som den har for shredderaffaldet. Ved slutningen af 2016 var den

samlede L/S-værdi baseret på fraført perkolat nået op 0,18 m³/ton. L/S beregnet på grundlag af infiltration af nedbør alene er af samme størrelsesorden, nemlig 0,19 m³/ton, dog igen uden at medregne vand opmagasineret i affaldet (denne del ville svare til en L/S-værdi på ca. 0,1 m³/ton, når fordampning ignoreres). Som for shredderaffaldet er der ved beregningen af en opmagasineret af 10,3 % vand i affaldet ved slutningen af 2016 ikke taget hensyn til fordampning.

Analyse af data

I Figur 6 er de årlige volumener af perkolat recirkuleret til de to områder sammenlignet med de estimerede årlige volumener af infiltreret nedbør, taget fra Tabel 2 og Tabel 3.



Figur 6: Sammenligning af recirkulerede perkolatmængder og infiltreret nedbør på årsbasis.

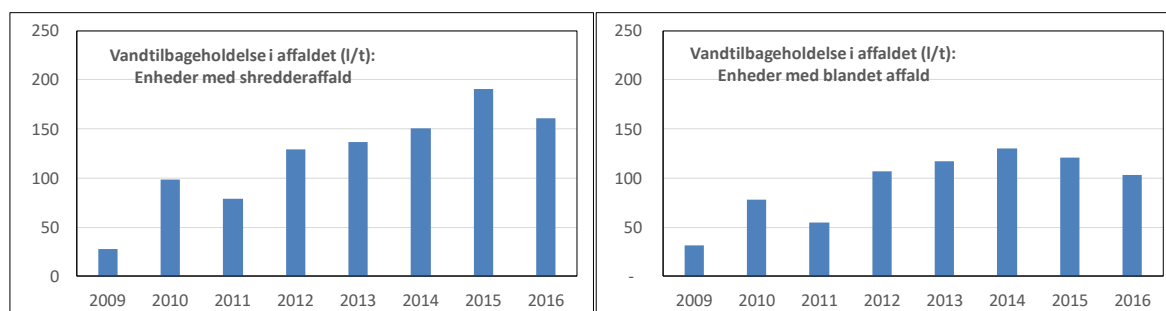
Dette viser at:

- Der er blevet recirkuleret langt mere perkolat til shredderaffaldet end til det blandede affald (omkring 10 gange mere).
- Mængden af perkolat recirkuleret til enhederne for shredderaffald er meget stor sammenlignet med infiltrationen af naturlig nedbør, mens mængden af perkolat recirkuleret til det blandede affald er af samme størrelsesorden som en smule mindre end den naturlige infiltration.

På trods af denne kontrast har der i begge tilfælde været en høj grad af tilbageholdelse af tilført eller recirkuleret vand/perkolat i affaldet (dvs. en stor forøgelse af vandindholdet) som vist i Figur 7, som anvender dataene fra Tabel 2 og Tabel 3, men hvor vandindholdet er udtrykt som liter/ton i stedet for %.

I begge tilfælde ser opmagasineringen af vand i affaldet ud til at have nået et mere eller mindre stabilt niveau. Dette kan være et tegn på, at affaldet er blevet mættet til feltkapaciteten. I shredderaffaldet har det gennemsnitlige vandindhold været ca. 154 liter/ton over de sidste 5 år sammenlignet med ca.

116 liter/ton for det blandede affald. Dette kan være en indikation af forskellen på absorptionskapaciteten for de to typer affald.



Tabel 7: Estimer af årlige vandtilbageholdelse i affaldet fra shredderaffald og blandet affald.

Driftsforholdene og ydelse for infrastrukturen til recirkulering er opsummeret i Tabel 4.

Tabel 4: Opsummering af drift og ydelse af infrastrukturen til recirkulering på Reno Djurs.

	Værdi	Enhed
Enheder for shredderaffald, A, B and M		
Systembeskrivelse		
Areal II, A-1, Cells A, B og M, shredderaffald		
Areal af enhederne A, B og M	23.921	m ²
Afstand mellem grøfterne i enhed A	5	m
Antal af grøfter	5	
Bredde af grøfter	2	m
Længde af hver grøft	50	m
Flow af perkolat tilført grøfterne	32	m ³ /time
Areal nået med sprinklerenhederne (~10m x 10m) på enhederne B og M	100	m ²
Flow af perkolat tilført sprinklerenhederne	32	m ³ /time
Ydelsesdata		
Volumen recirkuleret det maksimale år (2015)	57.862	m ³ /år
Tilsvarende arealbaserede tilførselsrate, 2015	66	m ³ /ha/dag
Enheder for blandet affald, J, K og L		
Systembeskrivelse		
Areal af enhederne J, K og L	20.719	m ²
Flow af perkolat tilført sprinklerenhederne	32	m ³ /time
Ydelsesdata		
Volumen recirkuleret det maksimale år (2014)	3.996	m ³ /år
Tilsvarende arealbaserede tilførselsrate, 2014	5,3	m ³ /ha/dag

Noter:

- Information om længde af og afstand mellem grøfter er baseret på mundtlig kommunikation med operatøren.
- Antallet af grøfter i enhed A er et bedste gæt, baseret på optælling af grøfter i Figur 5.

Den infrastrukturelle injektionshastighed kan ikke beregnes for de åbne grøfter, fordi tidsforløbet for skiftet mellem anvendelsen af udsprinklingsenhederne og grøfterne ikke kendes, og de perkolatvolumener, der er tilført grøfterne derfor ikke er kendt.

Den totale mængde perkolat, der er recirkuleret (til begge områder sammenlagt) gennem det maksimale år (2015) var $[57.862 + 2.643] = 60.505 \text{ m}^3$. Oppumpning med den opgivne hastighed på $32 \text{ m}^3/\text{time}$ i 8 timer/dag x 5 dage/uge x 50 uger/år ville give en samlet mængde på $[32 \times 8 \times 5 \times 50] = 64.000 \text{ m}^3$. Disse to tal er derfor indbyrdes konsistente og konsistente med et recirkuleringsystem, som er i drift i en stor del af normal arbejdstid.

En mere generel opsummering af de hydrauliske aspekter af recirkuleringen af perkolat på Reno Djurs er givet i Tabel 5.

Tabel 5: Opsummering af hydrauliske aspekter af recirkuleringen af perkolat på Reno Djurs.

	Værdi	Enhed
Enheder for shredderaffald, A, B and M		
Masse af affald i enhederne ved slutningen af 2016	245.680	tons
Antaget initialt vandindhold i shredderaffaldet	5	% w/w
Antaget in-situ bulkmassfylde	1,2	tons/m ³
Estimat af tilbageholdt vand ved slutningen af 2016	39.597	m ³
Heraf beregnet totalt vandindhold i affaldet (dvs. porevolumen)	51.881	m ³
Årligt totalt input af vand/perkolat i 2016	54.164	m ³ /år
Heraf estimeres den hydrauliske opholdstid i affaldet	0.96	år
	50	uger
Årligt tilført vand-/perkolatmængde udtrykt som vanddybde	2.264	mm/år
Enheder for blandet affald, J, K og L		
Masse af affald i enhederne ved slutningen af 2016	162.574	tons
Antaget initialt vandindhold i det blandede affald	10	% w/w
Estimat af tilbageholdt vand ved slutningen af 2016	16.699	m ³
Heraf beregnet totalt vandindhold i affaldet (dvs. porevolumen)	32.956	m ³
Årligt totalt input af vand/perkolat i 2016	6.939	m ³ /år
Heraf estimeres den hydrauliske opholdstid i affaldet	4.75	år
	247	uger
Årligt tilført vand-/perkolatmængde udtrykt som vanddybde	335	mm/år

Disse beregninger viser forskellen mellem de hydrauliske driftsforhold for enhederne for henholdsvis shredderaffald og blandet affald. For enhederne med shredderaffald svarer den recirkulerede perkolatmængde til flere gange den årlige nedbør, og den hydrauliske opholdstid i affaldet er kort, kun knap et år. I enhederne for blandet affald er recirkuleringshastigheden mellem 7 og 8 gange, svarende til ca. halvdelen af den årlige nedbør, og den hydrauliske opholdstid er væsentligt længere, nemlig knap 5 år.

Udfordringer og eventuelle tiltag

Reno Djurs har ikke rapporteret om nogen væsentlige udfordringer. Hvis og når infiltrationen fra en grøft på toppen af enhed A bliver for langsom på grund af tilstopning af porerne i bunden af grøften, udgraves der blot en grøft ved siden af den gamle. Udsprøjtning over nytildført affald stoppes i stærk blæst for at undgå utilsigtet spredning af perkolatet. Der har ikke været nogen tilfælde af jordskred på skråninger, og Reno Djurs oplyser, at tilførslen af recirkuleret perkolat er planlagt omhyggeligt med henblik på undgå denne slags problemer.

Den tidlige udvikling af sammensætningen af perkolatet fra de forskellige enheder er blevet beskrevet af COWI (2016) og sammenlignet med udviklingen i sammensætningen af perkolatet i den centrale perkolatopsamlingstank. På dette grundlag kan det ikke fuldstændigt udelukkes, at recirkuleringen af blandingen af perkolat fra adskillige enheder (inklusive enheder med bioasker, som producerer perkolat med forhøjede koncentrationer af f.eks. Cu og Zn) har givet anledning til, at koncentrationerne af disse stoffer i perkolatet fra enhederne med shredderaffald er steget ud over det niveau, som ville forventes uden recirkulering af perkolat fra den centrale tank. Denne stigning er dog ikke problematisk, da perkolatet jo håndteres sikkert i det eksisterende perkolatopsamlingsystem. Det er sandsynligt, at niveauet af disse stoffer i perkolatet fra enhederne med shredderaffald, når tilførslen perkolat fra den centrale opsamlingstank ophører, vil vende tilbage til det tidligere eller et endnu lavere niveau. Det skal bemærkes, at akkumulering af opløselige stoffer i perkolatet i den centrale opsamlingstank forhindres/reduceres gennem en kontinuerlig bortledning af en del af perkolatet til et spildevandsrensningsanlæg.

Opnåelse af formålene med recirkuleringen

Af det foregående fremgår det, at tilsætningen af vand og recirkuleringen af perkolat på Reno Djurs har øget både vandoptaget i affaldet og L/S, specielt for enhederne for shredderaffald. På grund af sammenblandingen af de forskellige perkolatstrømme i den centrale samletank kan der dog ikke udarbejdes massebalancer for stofferne i perkolatet for de enkelte beregningsenheder. Det ultimative formål – at forkorte efterbehandlingsperioden – er langsigtet, og for nærværende er det ikke muligt at vurdere, om det vil blive opfyldt eller ej.

Referencer

COWI (2014): Pumpesystem til recirkulering af perkolat. Konceptbeskrivelse. Note for Reno Djurs I/S dated 12 February 2014.

COWI (2016a): Recirkulation af perkolat. Redegørelse 2016. Note for Reno Djurs I/S dated 21 December 2016.

COWI (2017): Monitoring af grundvand og perkolat. Teknisk Baggrundsrapport 2016. Report for Reno Djurs I/S dated February 2017.

Rolsted, H., Rosendal, R. (2016): Deponering af affald – Håndbog for praktikere.

Bilag 3

Recirkulering af perkolat på Arwos deponi ved Sdr. Hostrup

Recirkulering af perkolat på Arwos deponi ved Sdr. Hostrup

Primært baseret på møde med teamleder Paul Rygaard på anlægget den 17. oktober 2017.

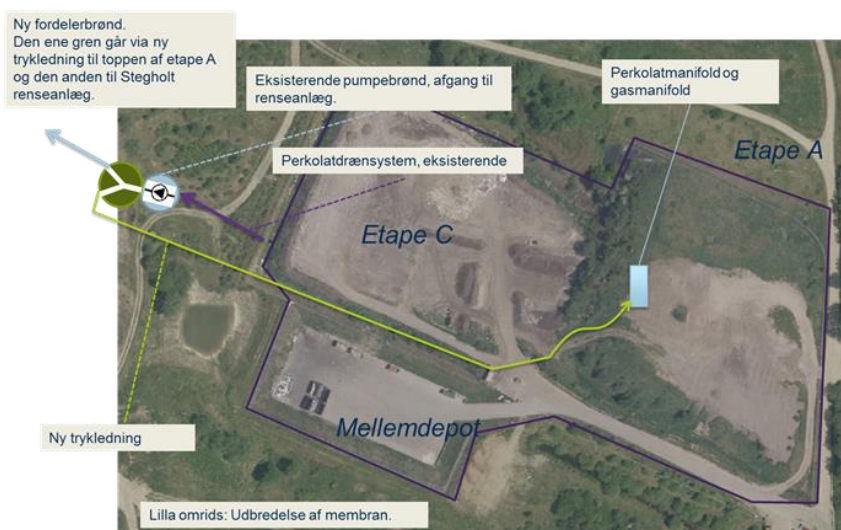
Baggrund og formål

Arwos startede 23.09.2014 med at recirkulere perkolat fra den fælles perkolatsamletank for enhederne A og C til overfladen af affaldet på disse. Formålet med at recirkulere perkolatet var at nedbringe den mængde perkolat, som skulle pumpes til rensning på rensningsanlæg. Desuden forventedes en øget gasproduktion som følge af, at der opbygges et højere fugtighedsindhold i affaldet. Recirkuleringen pågår fortsat. Det oplyses, at gasproduktionen i deponiet er begrænset (der drives dog en mindre gasturbine), og at methanudslippet er for lille til at kvalificere til deltagelse i Biocover-programmet.

I Tabel 1 ses nogle oplysninger om de to deponeringsenheder (de dele, som er omfattet er recirkuleringen). I Figur 1 ses en oversigt over deponeringsanlægget og recirkuleringsinstallationerne.

Tabel 1: Baggrundsoplysninger for enhederne A og B på Arwos Deponi. Foruden de oplysninger, som er modtaget fra Paul Rygaard, er der anvendt informationer fra Erisda-årsrapporterne og Overgangsplanen af 25.06.2002 for deponiet.

Enhed	Start	Status 2017	Type af enhed	Areal m ²	Affaldsvolumen m ³	Affaldsmasse tons	Gennemsnitshøjde m	
						Estimeret		
						Antaget rumvægt af affald:	1.0 t/m ³	
A	1991	Tildækket m. overjord (2001/2002)	Blandet affald	14,500	105,423	105,423	7.3	
C	June 2000	Igangværende	Blandet affald	21,000	100,530	100,530	4.8	
							Ultimo 2016, inklusive dækjord og tilskudsmaterialer	



Figur 1: Arwos Deponi. Recirkulering af perkolat. Situationsplan. Fra Korsager og Rygaard (2015).

Teknisk beskrivelse af recirkuleringen

På overfladen af den afsluttede del af enhed A er der udlagt 30 cm drængrus, og oven på dette er der med ca. 5 m afstande lagt 12 separate U-formede strenge af drænrør, hver af ca. 69 m længde. Rørene er PE Ø 40 mm x 2,4 mm i PN10. Med 1,4 m afstand er drænrørene anboret med Ø 4 mm huller. Oven på rørene er placeret geotekstil og yderligere et lag drængrus samt 0,8 – 1,0 m overjord. Fra en central manifold i en container kan perkolatet ledes ud i drænstrengene med et svagt tryk på 1 bar. Ved normal drift anvendes 6 af U-rørene ad gangen, således at der pumpes perkolat ud i hver ende af de anvendte par. Der skiftes mellem disse og de andre 6 par U-rør. Der køres normalt i døgn drift på hverdage på enhed A. I containeren kan der omstilles til udsprøjtning over enhed C. Dette gøres normalt i weekenden, hvor der så ikke tilføres perkolat til enhed A.

Perkolatet pumpes fra samle- og pumpebrønden for perkolat fra alle enheder til containeren med fordelings-manifolden, som ligger noget højere end brønden, med en hastighed på ca. 17,3 m³/time, når der fordeles til enhed A.

På enhed C fordeles perkolatet ved hjælp af en fordelingsmekanisme (en "slæde"), som kan flyttes ved hjælp af en gummiged. Denne sender fra 10 Ø 12 mm huller i et vandret jernrør i omkring en meters højde perkolatet ud i stråler af nogle meters længde over overfladen af det ikke-tildækkede deponerede affald på enhed C. Den store hul diameter forhindrer aerosoldannelse og tilstopning.

I enhed C udlægges samtidig med 15 – 20 m afstand horisontale enkeltstrenge af rør af samme slags som anvendt i enhed A til fremtidig tilførsel af recirkuleret perkolat. Mellem disse udlægges tilsvarende rør til fremtidig ekstraktion af eventuel gas. Det er planen at gentage udlægningen af både perkolat- og gasrør med 6 m vertikal afstand, dog forskudt horisontalt i forhold til hinanden. Der deponeres pt. ca. 4.500 tons affald på enhed C.

Perkolatsamlebrønden modtager som ovenfor nævnt perkolat fra enhederne A og C samt en lille mængde fra mellemlagerpladsen. Fra brønden pumpes perkolatet til en container, hvorfra det enten recirkuleres til fordelingsmanifolden via et filter og en flowmåler, eller pumpes til det kommunale spildevandsrensningsanlæg. En niveauekontrol i pumpebrønden sikrer, at overskudsperkolat straks sendes til spildevandsrensningsanlægget. Perkolatet til recirkulering sendes gennem to parallelt forbundne filtre, inden det via flowmåleren sendes til fordeling. Filtrene rengøres på skift hver dag.

Vand-/perkolatbalancer

Baseret på oplysninger modtaget under besøget på deponeringsanlægget og på informationer fra Erisda-årsrapportene for 2012, 2013, 2014, 2015 og 2016, kan de i Tabel 2 viste vandbalancer opstilles. Desværre kan der ikke skelnes mellem perkolat recirkuleret til enhed A og enhed C. Den samlede vandingsseffekt kan derfor kun vurderes samlet for enhederne A og C.

Estimaterne af, hvorfra perkolatet til spildevandsrensning stammer, er baseret på de indbyrdes forhold mellem arealerne af enhed A, enhed C og mellemlageret. Tallene stammer fra Erisda-årsrapporterne.

I et forsøg på at vurdere eventuelle ændringer i perkolatmængden til rensning som følge af (midlertidigt) øget vandoptag på grund af recirkuleringen af perkolat, er forholdet mellem perkolatmængden til rensning og den samlede nedbør over deponeringsenhederne A, C og mellemlageret beregnet i Tabel 2. Den store stigning i 2014 skyldes formentlig, at der kom så meget nedbør i december 2014, at det meste af perkolatet blev sendt til rensningsanlægget. Dataene fra 2012 og 2013, dvs. inden der

blev recirkuleret perkolat, er medtaget til sammenligning med situationen efter påbegyndelse af perkolatrecirkuleringen. Tallene hopper lidt op og ned, så det er vanskeligt at konkludere noget på det grundlag.

Tabel 2: Vandbalancer opstillet på grundlag af tilgængelige data.

Vandbalancer	Enhed	2012	2013	Hele 2014	23/9-31/12 2014	2015	2016	1/1-17/10 2017
Recirculation								
Til enhed A	m3	-	-					
Til enhed C	m3	-	-					
Til begge	m3				4,937	53,642	64,545	38,848
Samlet nedbør	m3	45,234	43,191	21,958		41,325	38,327	
Opsamlet perkolat til spildvandsrensning								
Fra enhed A*	m3	8,181	9,228	7,388		9,006	6,081	
Fra enhed C*	m3	10,402	11,712	9,376		11,429	7,718	
Fra begge*	m3	18,583	20,940	16,764		20,435	13,799	
Fra mellemlageret*	m3	1,636	1,845	1,478		1,801	1,216	
Total	m3	20,219	22,785	18,242	8,194	22,236	15,015	15,012
Perkolat til rensning/samlet nedbør	%	44.7	52.8	83.1		53.8	39.2	

*: Baseret på den arealmæssige fordeling mellem enhed A, enhed C og mellemlageret (Erisda-årsrapporter)

Beregnete hydrauliske data

På basis af ovenstående er der i Tabel 3 beregnet en række hydrauliske data for recirkuleringen.

Tabel 3: Hydrauliske data for det samlede system.

	Value	Units
Startdato	23/09/2014	
Dato for seneste data	17/10/2017	
Totalt volumen recirkuleret (fra Tabel 2)	161.972	m ³
∴ Gennemsnitlig recirkuleringshastighed	52.786	m ³ /år
Affaldsindhold i enhederne A + C (fra Tabel 1)	205.953	tons
∴ Re-injiceret vand/perkolat per ton	0,79	m ³ /ton
Gennemsnitlig re-injektionshastighed per ton	0,26	m ³ /ton/år
Estimeret porevolumen ved 40% H ₂ O	82.381	m ³
∴ Antal porevolumener til dato	1,97	
Gennemsnitlig hydraulisk opholdstid [porevolumen/hastighed]	1,56	år

Den hydrauliske tilførselshastighed på de to enheder er høj, varierende fra ~1.360mm/år på enhed C til ~3.250mm/år på enhed A, med tilsvarende korte hydrauliske opholdstider på henholdsvis ca. 1,3 og 2,0 år, som vist i Tabel 4.

Udledte ydelsesdata for infrastrukturen

I Tabel 4 er der beregnet ydelsesdata for infrastrukturen i begge de to enheder.

Tabel 4: Beregnede ydelsesdata for infrastrukturen en enhed A og enhed C.

	Value	Units
1. Nedgravede drænrør, Enhed A		
Systembeskrivelse		
Antal U-rør	12	
Gennemsnitlig længde af hvert U-rør	69	m
Antal U-rør i brug ad gangen	6	
Længden af aktive drænrør til enhver tid	828	m
Areal af enhed A	14.500	m ²
Areal dækket af nedgravede drænrør (informeret gæt)	10.000	m ²
Ydelsesdata		
Pumpehastighed	17,3	m ³ /time
Varighed af pumpning Mandag-Fredag	4,3	dage
Varighed af pumpning, Enhed C, weekend	2,7	dage
Teoretisk årlig udpumpet perkolatmængde, Enhed A	92.839	m ³ /år
og, teoretisk årlig mængde, Enhed C	58.294	m ³ /år
total	151.133	m³/år
Faktisk mængde pumpet – gennemsnit til dato (fra Tabel 2)	52.786	m ³ /år
Faktisk mængde pumpet over hele enhedens areal	1.487	mm/år
Fortolkning af ydelsesdata		
Momentan injektionsydelse af infrastrukturen	501	liter/m/dag
Gennemsnitlig injektionsydelse af infrastrukturen	107	liter/m/dag
Arealmæssig tilførselshastighed	89	m ³ /ha/dag
	~3.250	mm/år
Gennemsnitlig affaldshøjde	7,3	m
Porevolumen ved 40% v/v vandindhold	2,9	m
Hydraulisk opholdstid, fra regnet regn	2,0	år
2. Udsprinklingssystem på Enhed C		
Systembeskrivelse		
Antal sprinklerhoveder på slæde	10	
Areal, der forventes dækket af udsprinklingen	15000	m ²
Arealmæssig ydelseshastighed	37,2	m ³ /ha/dag
	~1,360	mm/år
Gennemsnitlig affaldshøjde	4,8	m
Porevolumen ved 40% v/v vandindhold	1,9	m
Hydraulisk opholdstid, fra regnet regn	1,4	år

Noter:

- Den gennemsnitlige årlige udpumpningshastighed er beregnet ud fra totalværdierne i Tabel 2 over perioden fra 23/9/14 til 17/10/17.
- Den gennemsnitlige årlige udpumpningshastighed er ca. en tredjedel af den teoretiske værdi, hvilket er konsistent med at systemet kun kører i arbejdstiden, hvor der er bemanning.
- Ved beregningen af de arealbaserede recirkuleringsydelse og den gennemsnitlige infrastrukturbaserede recirkuleringsydelse er de den årlige tilførte perkolatmængde blev fordelt pro rata mellem enhederne A og C, baseret på de ugentlige driftsperioder (4,3 dage mandag-fredag for enhed A og 2,7 dage i weekenden for enhed C).

4. Infrastrukturens ydelse for enhed A er baseret på antagelsen af, at de fulde 17,4 m³/time anvendes, når perkolatet recirkuleres til enhed A.
5. De estimerede arealer anvendt til beregningen af de arealbaserede ydelser er baseret på (i) Enhed A: de angivne dimensioner af U-rørssystemet (~90m x 100m) plus en smule ekstra areal; (ii) Enhed C: enhedsareal 2,1 ha, men reduceret til 1,5 ha, da det antages, at der ikke sprinkles på sideskråningerne, og at fordelingsenheden flyttes rundt på det vandrette areal op toppen af affaldet.

Udfordringer

Det oplyses blandt andet i et notat til Deponigruppen i Dansk Affaldsforening udarbejdet af Bjarke Korsager, Arwos, i 2015, at skidt i perkolat og regnvand (især fra mellemdapotet) kan tilstoppe hullerne i drænsrørslangerne. Skidtet består blandt andet af polystyren, plast, "sejt" papir, o.lign. Det gør det nødvendigt at rense filterene i containeren ved pumpebrønden hver dag, hvilket medfører et betydeligt tidsforbrug. Der er endnu ikke konstateret tilstopning af drænsrørslangerne i enhed A (med deres U-form er de i øvrigt indrettet således, at det vil være muligt at sende en "gris" igennem dem, hvis det bliver nødvendigt).

I 2016 skete der et jordskred på sydskråningen af enhed A som følge af perkolatudsivning. Problemet er afhjulpet dels ved reduktion af recirkuleringen i det ramte område, dels ved etablering af dræn og oprensning af en grøft nedenfor skråningen indenfor membranen, hvor perkolat kan oppumpes til perkolatopsamlingsystemet. Den yderste drænrørstreng nærmest skrænten anvendes ikke længere, og der har ikke siden været problemer med udsivende perkolat.

Opfyldelse af formålene med recirkuleringen

Som allerede nævnt, fremgår det ikke soleklart af de vandbalancer, som det er muligt at opstille, i hvor høj grad recirkuleringen har ført til en (midlertidig) reduktion i den perkolatmængde, som sendes til rensningsanlægget.

Arwos oplyser, at der ikke er konstateret nogen væsentlig ændring i sammensætningen af det samlede perkolat som følge af recirkuleringen.

Referencer

Bjarke Korsager (2015): Recirkulering af perkolat. Notat til Deponigruppen, Dansk Affaldsforening.

Bjarke Korsager og Paul Rygaard (2015): Arwos Deponi. Recirkulering af perkolat. Præsentation fra 7. maj 2015.

Erisda-årsrapporter fra 2012, 2013, 2014, 2015 og 2016.

Grænseregion Syd (2002): Overgangsplan for den fælleskommunale losseplads i Sdr. Hostrup.

Miljøstyrelsen (2017): Arwos Deponi: Offentliggørelse af tilsynsrapport (tilsyn 22. juni 2017):

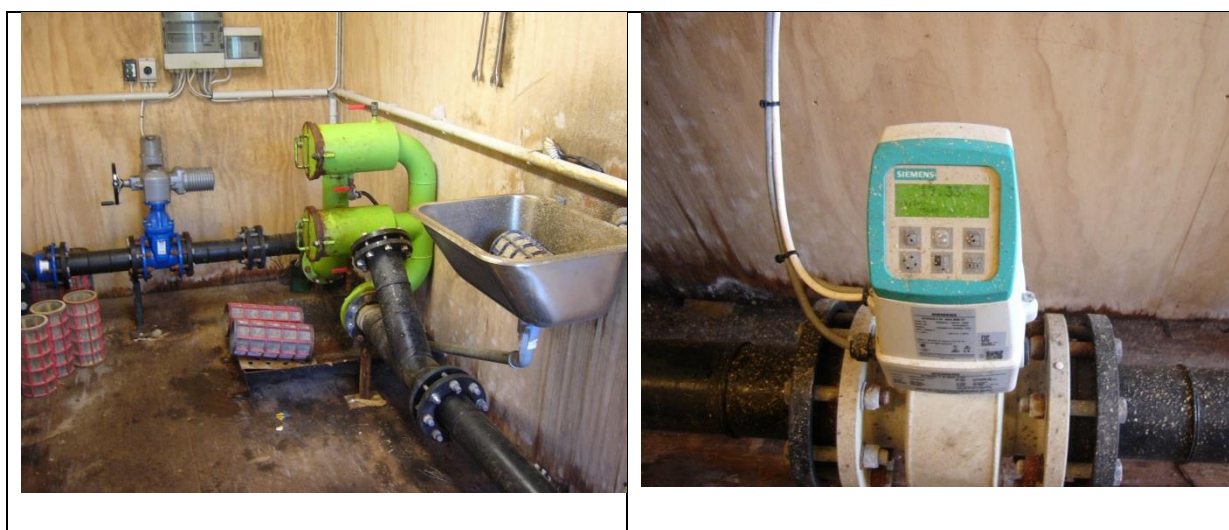
<http://mst.dk/service/annoncering/annoncearkiv/2017/august/20170824-arwos-deponi-offentliggørelse-af-tilsynsrapport/>

Paul Rygaard (2017): Personlige oplysninger under og efter besøget på Arwos Deponi den 17/10/2017.

Fotos fra Arwos Deponi



Figur 2: Sydskråningen på etape A, hvor perkolatudsivningen i 2016 skete. I forgrunden ses den oprensede grøft, og i baggrunden den igangværende celle for asbest/eternit (som ikke indgår i recirkuleringen).



Figur 3: Til venstre filtrene i containeren ved perkolatpumpebrønden, som perkolatet passerer, inden det pumpes op til fordelingsmanifolden på toppen af enhed A. Til højre flowmåleren for perkolatet, der pumpes til fordelingsmanifolden. Aflæsningen viser maksimal pumpeydelse under de givne omstændigheder.



Figur 4: Fordelingscontaineren på toppen af etape A. Til venstre ses ledninger til gasopsamling uden på containeren, og i baggrunden ses plastrør til markering af endepunkterne for nogle af U-drænrørsledningerne. Til højre ses fordelingsmanifolden til de nedgravede drænrør inde i containeren.



Figur 5: Fordelingsenheden på toppen af etape C.

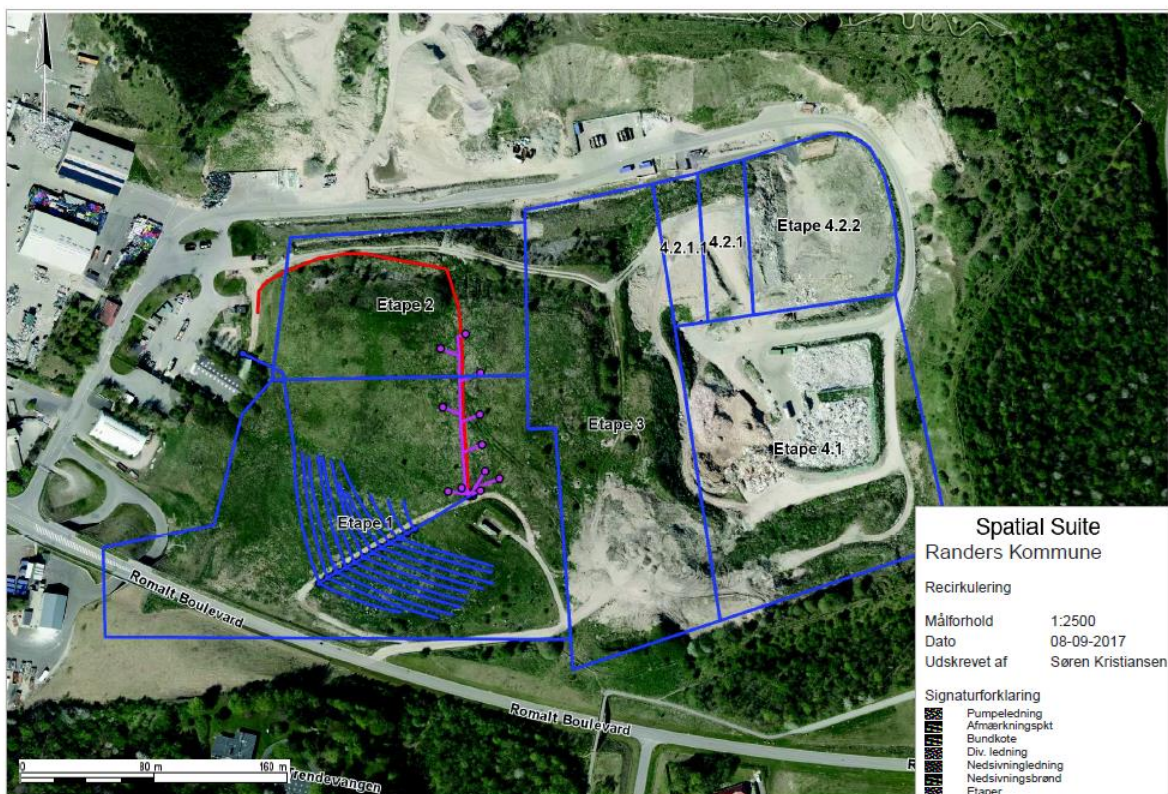
Bilag 4

Recirkulering på deponeringsanlægget ved Randers Affaldsterminal

Recirkulering af perkolat på deponeringsanlægget ved Randers Affaldsterminal

Baggrund og formål

Mellem 1982 og 1989 blev der deponeret ca. 435.680 tons affald (husholdningsaffald, asbestaffald, cementbundet asbest, spildevandsslam, olieforurenede jord, bygge- og anlægsaffald, erhvervsaffald, kulflyveaske og kulslugger) på etape 1 og etape 2 på deponeringsanlægget ved Randers Affaldsterminal (Miljøministeriet, 2009). Etape 1 og etape 2 dækker omtrentlige arealer på henholdsvis 3,3 ha og 1,4 ha med en gennemsnitlig affaldsdybde på ca. 10 m og en maksimal affaldsdybde på ca. 39 m. Enhederne har ikke nogen kunstig bundmembran, men er udstyret med en 0,5 m tyk forarbejdet lermembran (0,5 til 1,0 m tyk på skråningerne). Permeabilitetskoefficienten for lermembranen ved 10 °C er målt til 5×10^{-11} m/s, og hældningsgradienten for bundmembranen varierer mellem 2 og 21,4 0/00. Det primære grundvandsmagasin under deponeringsanlægget er artesisk (Miljøministeriet, 2009). Flere andre deponeringsenheder ved Randers Affaldsterminal er under efterbehandling eller i drift, og perkolatet fra enhederne 1, 2, 3 og 4 ledes til en fælles perkolatopsamlingsstank, hvorfra det kan pumpes til et kommunalt spildevandsrensningsanlæg. Figur 1 viser et luftfoto af deponeringsanlægget.



Figur 1: Luftfoto af deponeringsenhederne og recirkuleringssystemet ved Randers Affaldsterminal (Jensen, 2017).

Enhederne 1, 2 og 3 er blevet udstyret med et gasopsamlingsystem bestående af 56 vertikale brønde af varierende dybde (mellem 15 og 20 m), forbundet med gasoppumpningsrør, som leder gassen gennem et rensnings- og pumpeanlæg til et gastransmissionssystem, som transporterer gassen til det

kommunale affaldsforbrændingsanlæg, hvor den indgår i produktionen af el og centralvarme. Omkring 2010 var gasproduktionen faldet til et relativt lavt niveau, og det blev antaget, at en af grundene til dette var, at vandindholdet af affaldet var faldet til et for lavt niveau, hvorved den gasproducerende nedbrydningsproces var aftaget i hastighed (mere end man ville forvente alene ud fra deponeringsanlæggets alder). Det blev derfor besluttet at prøve at forbedre denne situation ved at recirkulere perkolatet til affaldet og derved øge vandindholdet og stimulere gasproduktionen. Det var yderligere forventet, at dette eventuelt også kunne reducere mængden af perkolat, som skulle pumpes til spildevandsrensningsanlægget.

Teknisk beskrivelse af recirkuleringen

Perkolatet fra alle deponeringsenheder med perkolatopsamlingssystemer ved Randers Affaldsterminal samles i en pumpebrønd, hvorfra det via det offentlige kloaksystem kan pumpes til et spildevandsrensningsanlæg. Hvis pumpen svigter, ledes perkolatet til et opsamlingsbassin, som er udstyret med en kunstig membran, som er beskyttet af sand og fliser. For at muliggøre recirkulering af perkolatet blev der etableret en ny pumpebrønd, som var forbundet med den eksisterende og udstyret med en flowmåler, til at pumpe perkolat via en trykledning til en hovedfordelingsbrønd placeret på det højeste punkt på deponeringsanlægget (op toppen af deponeringsenhed 1). Pumpehøjden er ca. 37 m. Pumpningen styres af perkolatniveauet i pumpebrønden og sikrer, at perkolat, som ikke kan recirkuleres, pumpes til rensningsanlægget. Fra fordelingsbrønden fordeles perkolatet til to typer af vertikale injektionsbrønde og til et system af nedgravede horisontale drænrør (Randers Affaldsterminal, 2013). Recirkuleringssystemet blev taget i drift den 26. marts 2011 (Jensen, 2017).

Figur 2 viser en oversigt og nogle detaljer vedrørende recirkuleringssystemet for perkolat (Jensen, 2017).

Fra hovedfordelingsbrønden strømmer perkolatet til de valgte vertikale og horisontale brønde og drænrør ved gravitation. I brønden er der 10 fordelingsventiler (A1-A5 og B1-B5, se Figur 2), som kan åbnes og lukkes individuelt. Dette muliggør selektiv blokering af perkolattilførslen til dele af injektionssystemet, hvis der observeres perkolat i nogle af gasbrøndene, som monitoreres regelmæssigt med dette for øje. Perkolatniveauet i hovedfordelingsbrønden monitoreres ligeledes, og tilførselpumpen stopper automatisk, hvis niveauet stiger til en kritisk højde (Randers Affaldsterminal, 2013).

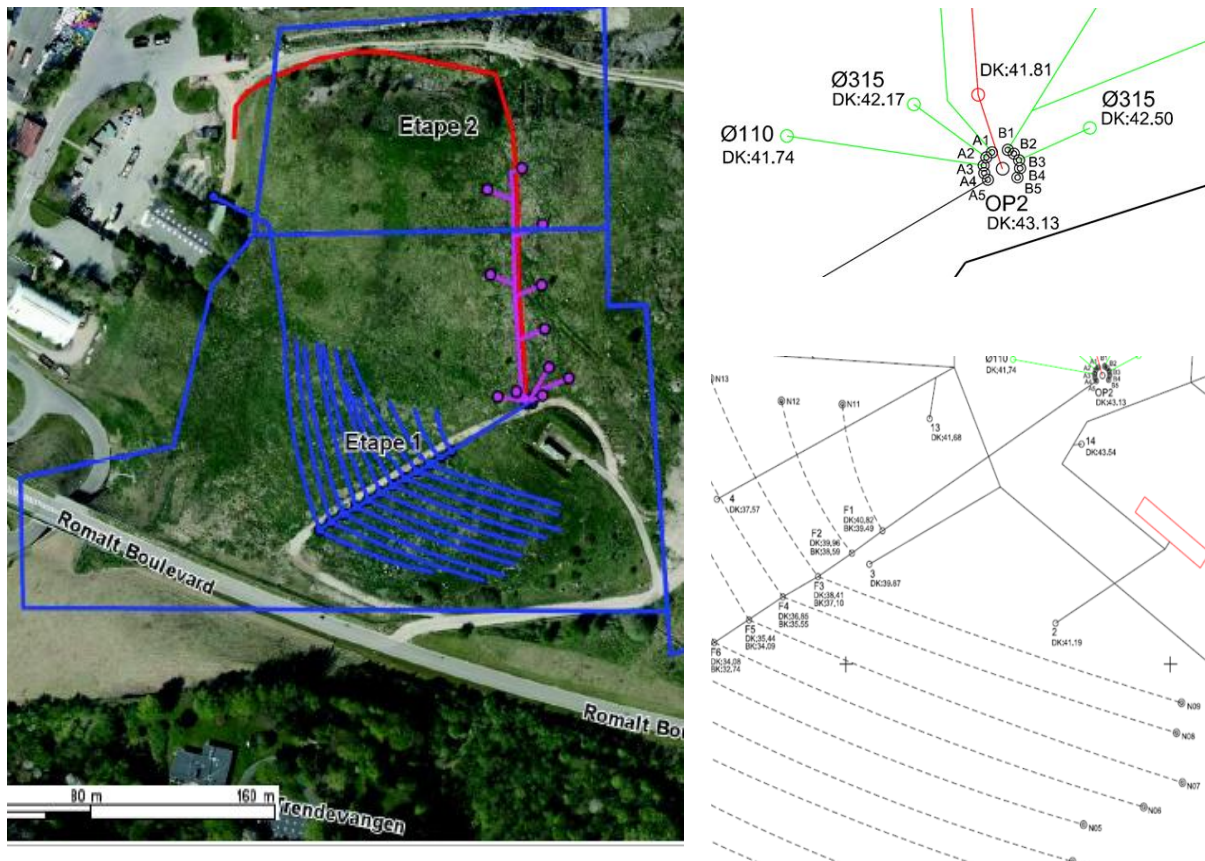
Seks af udløbsventilerne fra hovedfordelingsbrønden var i 2013 taget i brug:

- Fra A1 ledes perkolatet til 6 vertikale $\varnothing 110$ mm sivebrønde
- Fra A2 ledes perkolatet til ét vertikalt sivedræn $\varnothing 315$ mm
- Fra A3 ledes perkolatet til ét vertikalt sivedræn $\varnothing 110$ mm
- Fra B1 ledes perkolatet til 2 vertikale sivedræn $\varnothing 110$ mm
- Fra B3 ledes perkolatet til ét vertikalt sivedræn $\varnothing 315$ mm
- Fra A5 ledes perkolatet til ét større horisontalt drænsiveanlæg

De lodrette sivedræn er perforerede rør i dimensionerne $\varnothing 110$ mm og $\varnothing 315$ mm med en længde på 3 m, hver der nedsives i affaldet under jordlaget. Drænene er sat i singels. Toppene af sivedrænene er lukket tæt, men kan åbnes, hvorved drænene kan spules.

Fra ventil A5 i hovedfordelingsbrønden ledes perkolatet ned ad skråningen til fordelingsbrønd F1, hvorfra det ledes til et sivedræn (N11, se Figur 2 nederst til højre). Når dette dræn er fyldt op, ledes

vandet videre ned til F2. Udløbsrøret er placeret højere end indløbet. Fra F2 ledes perkolatet til sivedræn N12 og således fremdeles. Hvis og når perkolatet når frem til F12, fordeles det til de horisontale sivedræn N10 og N22. Hvis disse to sivedræn bliver opfyldt, vil perkolatet fra N22 fortsætte via en rørledning tilbage til perkolatopsamlingsbassinet. Alle vandrette dræn kan spules fra fordelingsbrøndene. I dette fordelingsystem er de $\varnothing 80/92$ mm horisontale drænrør placeret i singels (32/64 mm) oven på et 50 cm lag af 16/32 drænmateriale placeret oven på affaldet og dækket af ca. 50 cm overjord. Højdeforskellen mellem hovedfordelingsbrønden og fordelingsbrønd F12 er ca. 20 m (Randers Affaldsterminal, 2013).



Figur 2: Detaljeret oversigt over perkolatrecirkuleringssystemet (til venstre). Trykledningen til op-pumpning af perkolat til hovedfordelingsbrønden på det højeste punkt af deponeringsenhed 1 er markeret med rødt. Distributionsledningerne til de vertikale sivedræn er vist med violet, og det horisontale nedsvivningssystem er vist med blå. Øverst til højre ses trykledningen for tilførsel af perkolat til hovedfordelingsbrønden (rød), og distributionsrørene til de vertikale sivedræn (grønne) og til det nedgravede system af horisontale sivedræn (sort). Nederst til højre ses den øverste del af det horisontale system.

I Randers Affaldsterminal (2013) anføres det, at perkolatrecirkuleringssystemet på dette tidspunkt havde været delvis i drift på forsøgsbasis, og at det skønnedes – men endnu ikke var dokumenteret – at det havde medført en øget gasproduktion.

Hydraulisk analyse af information om vandbalancer

Data leveret af Randers Affaldsterminal viser, at der i 2016 blev recirkuleret 48.057 m³ perkolat, og at der i 2017 fra 1. januar til 11. oktober blev recirkuleret 22.401 m³ perkolat.

Det er oplyst, at tilførslen af perkolat normalt er blevet standset, hvis der blev observeret returflow fra det horisontale system (F12) til perkolatopsamlingstanken. I det følgende er det derfor antaget, at hele den oppumpede perkolatmængde er blevet tilført det deponerede affald.

Volumetriske pumpedata for kalenderåret 2016, som er modtaget fra Randers Affaldsterminal, er anvendt til den hydrauliske analyse i Tabel 1.

Table 1: Hydraulisk analyse af recirkuleringen af perkolat ved Randers Affaldsterminal.

	Værdi	Enhed
Systembeskrivelse		
Totalt antal horisontale sivedræn	21	
Estimeret total længde af horisontale sivedræn	1450	m
Antal vertikale 3 m – sivedræn	11	
Heraf fås total længde af vertikale sivedræn	33	m
Overfladeareal af deponeringsenhederne 1 og 2	47.000	m ²
Affaldsmængde i deponeringsenhederne 1 og 2	435.680	tons
Ydelsesdata		
Perkolat bortledt fra hele deponeringsanlægget (enhederne 1-4) i 2016	22.650	m ³
Totalt perkolatvolumen from enhederne 4.1 og 4.2 i 2016	8.967	m ³
Heraf fås totalt volumen bortledt fra enhederne 1-3 i 2016	13.683	m ³
Totalt volume opsamlet fra enhederne 1 to 3 i 2016	61.740	m ³
Totalt volumen recirkuleret in 2016	48.057	m ³
Gennemsnitlig hydraulisk opholdstid for enhederne 1+2 [affaldsmængde x 40% H ₂ O/årligt flow]	3,6	år
Fortolkning af ydelsesdata		
Forhold mellem recirkuleret perkolatmængde og bortledt perkolatmængde fra enhederne 1-3	3.5	m ³ /m ³ /år
Recirkuleret perkolatmængde per ton affald i enhedrne 1+2	110	l/ton/år
Infrastrukturhastighed gennem dræn og sivebrønde	89	l/m/dag
Antaget areal af enhederne 1+2, som påvirkes af infrastrukturen	2	ha
Heraf arealbaseret tilførselshastighed af infrastrukturen	66	m ³ /ha/dag
	2.409	mm/år

Noter:

1. Længderne af horisontale sivedræn estimeret ud fra LE34 Landinspektørfirmaet Dwg 112013-005, dateret 17.1.2012
2. Perkolatvolumener er taget fra Randers Affaldsterminals fil: 'Perkolataflæsning 2016.xlsx'
3. Påvirket areal er estimeret på grundlag af visuel fortolkning af luftfoto

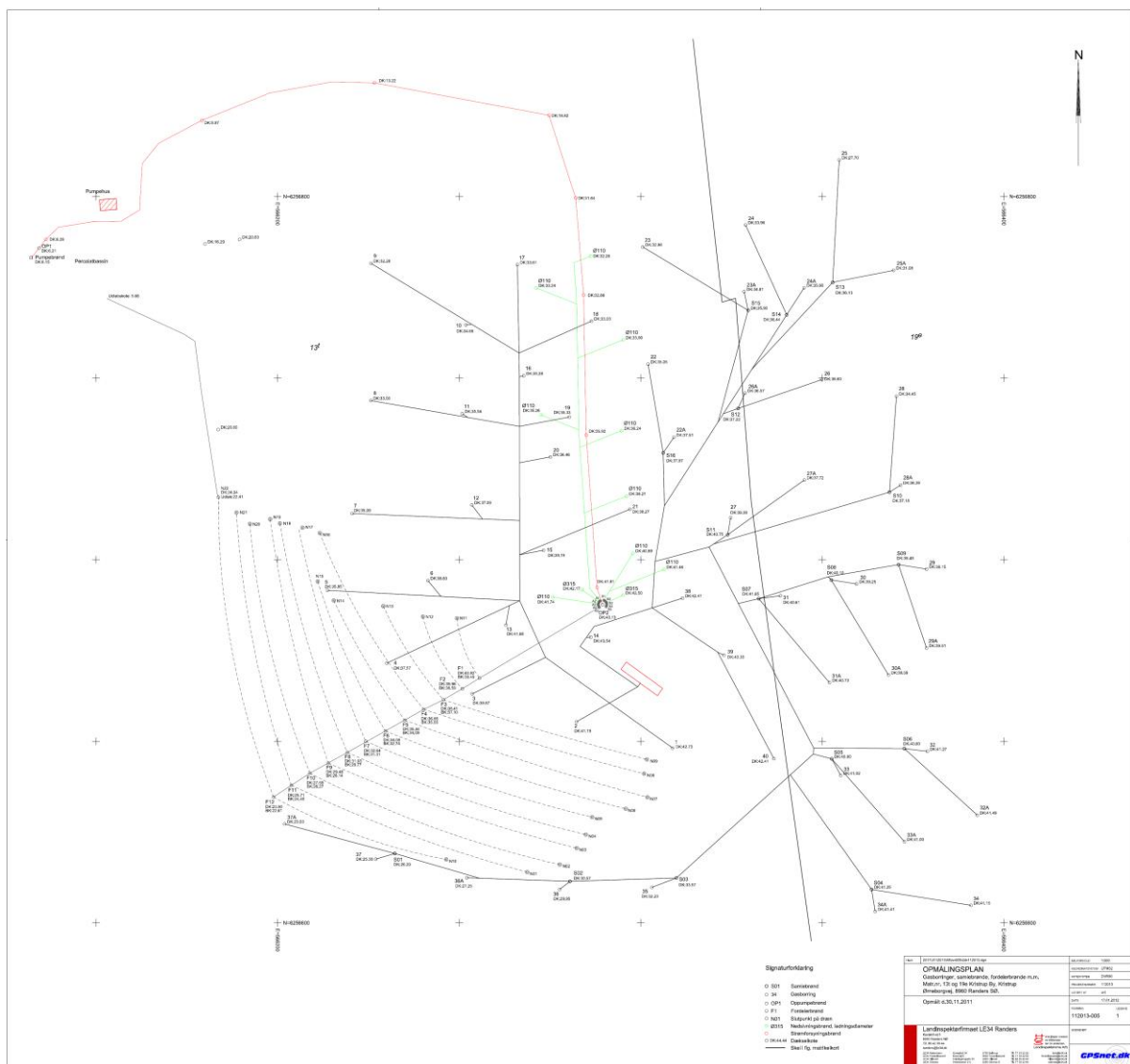
Dataene i Tabel 1 viser, at recirkulering foregår ved en høj hydraulisk hastighed, hvor der tilføres affaldet 110 liter perkolat per ton affald per år. Både de areal- og infrastrukturbaserede tilførselshastigheder er også høje sammenlignet med de indsamlede erfaringsdata i Tabel 3.1 i hovedrapporten. Indenfor de områder, som skønsmæssigt påvirkes af recirkuleringen, svarer tilførselshastigheden til ca. 2.400 mm/år. Den gennemsnitlige hydrauliske opholdstid for enhederne 1+2 er ~3.6 år, men

sandsynligvis meget kortere i de påvirkede områder og længere i de områder, hvortil der ikke recirkuleres perkolat. Det er interessant, at der ved de beskrevne recirkuleringshastigheder blev observeret nogle perkolatudbrud på skrænterne, hvilket medførte af perkolattilførslen til de pågældende sive-dræn blev stoppet.

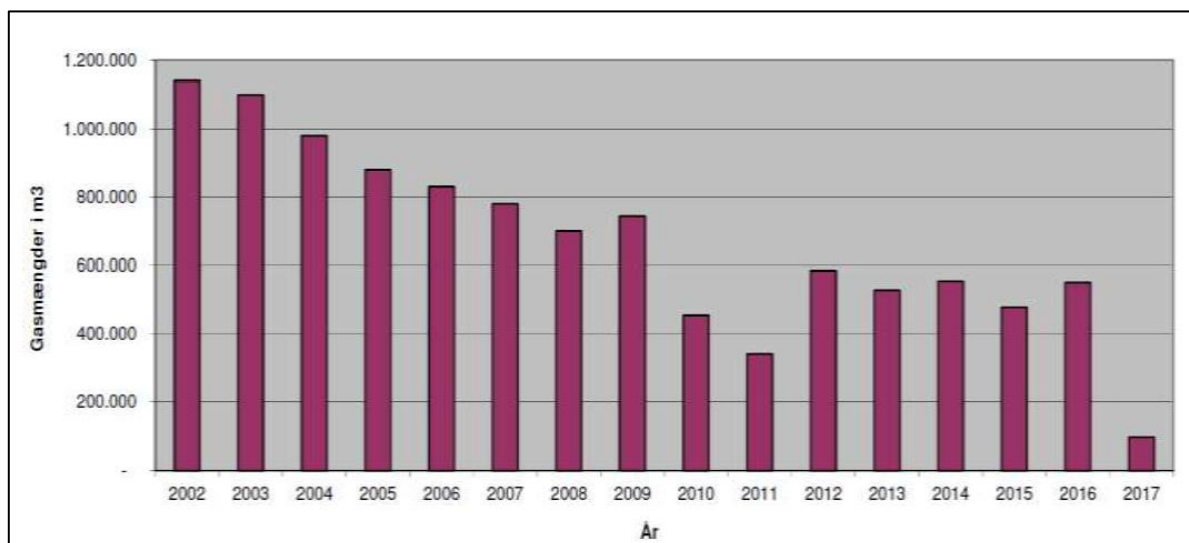
Information om gasopsamlingen

Der er modtaget nogen information om gasopsamlingen, som kan bidrage til en vurdering af, om recirkuleringen har givet anledning til ekstra gasdannelse.

Gasopsamlingsystemet omfatter kun enhederne 1, 2 and 3. Dette fremgår af en sammenligning af et kort over gassystemet (Figur 3) med luffotoet i Figur 1, som viser placeringen af de forskellige enheder.



De årlige opsamlede gasmængder, som er modtaget fra Randers Affaldsterminal, er vist i Figur 4 og Tabel 2.



Figur 4: Årligt opsamlede gasmængder ved Randers Affaldsterminal.

Tabel 2: Månedligt opsamlede gasmængder ved Randers Affaldsterminal i 2009 – 2017.

	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
Januar				61.662	0	61.416	72.379	10.861	59.292	57.599	58.101
Februar				76.258	0	33.045	47.991	183.268	40.874	44.351	37.175
Marts				53.837	0	34.957	50.070	38.690	33.662	42.731	
April			44.955	64.270	0	45.536	46.062	40.406	39.819	35.039	
Maj			38.794	39.950	0	46.001	46.787	43.102	25.813	48.210	
Juni			90.236	34.007	36.056	52.059	48.798	43.952	51.605	42.004	
Juli			61.498	31.509	38.045	43.690	52.120	46.969	46.198	51.128	
August				7.570	45.342	23.191	15.691	-	10.070	41.691	
September				14.937	28.742	61.904	31.692	20.456	44.401	53.767	
Oktober			72.891	32.823	65.464	78.915	48.866	59.267	35.090	51.672	
November			71.691	29.697	67.195	56.432	33.261	41.326	48.496	44.331	
December			56.748	8.221	60.111	47.968	34.122	26.757	42.465	38.789	
Samlet mængde			436.813	454.741	340.955	585.114	527.839	555.054	477.785	551.312	95.276

De årlige totalmængder for 2010 og 2011 er sandsynligvis kunstigt lave, idet atypisk lave volumener blev registreret for august, september og december i 2010 og ingen gas blev registreret i perioden januar til maj i 2011, som vist i Tabel 2.

Graferne for den årlige produktion i Figur 4 kan derfor være vildledende for disse to år. I virkeligheden har produktionen i 2011 formentlig ligget omkring 583.000 m³. Når dette tages i betragtning, viser graferne mere eller mindre, hvad der kunne forventes: en aftagende produktion som følge af stoppet for tilførsel af husholdningsaffald fra sidst i 1990'erne. Det må således antages, at gasproduktionen har været nogenlunde konstant siden omkring 2011, hvilket er konsistent med:

- (i) en forventning om en lang stabil "haleproduktion" på omkring $\pm 1\text{m}^3/\text{t}/\text{år}$ fra det ældre affald i de gamle enheder 1, 2 og 3 fra omkring 10 – 15 år efter ophør af tilførslen af organisk affald, og
- (ii) et mindre bidrag fra det nyere affald i enhederne 4.1 og 4.2, selv om dette har lavere indhold af organisk, nedbrydeligt materiale, og det er ikke helt klart, om gasopsamlingssystemet er blevet udvidet til også at opsamle gas fra disse enheder.

Der er derfor ikke klare beviser til støtte for, at der skulle være sket en væsentlig stigning i gasproduktionen som følge af recirkuleringen af perkolat, som begyndte i 2011.

Udfordringer og eventuelle tiltag

Jensen (2017) nævner, at lag i affaldet med særlige hydrauliske egenskaber kan give anledning til akkumulering af perkolat, og at "kortslutning" af perkolat fra fordelingsbrønde til dræn kan medføre, at det samme perkolat recirkuleres gennem systemet flere gange uden at passere gennem affaldet. Forekomsten af perkolatudbrud på skrænterne (hvoraf nogle er ret stejle), som standses ved at afbryde den lokale tilførsel af perkolat, nævnes også.

Opfyldelse af formålet med recirkuleringen

Ifølge Jensen (2017) – og som nævnt i Randers Affaldsterminal (2013) – er det deponiejernes opfattelse, at gasproduktionen er steget som følge af recirkuleringen (se dog diskussion ovenfor). Endvidere menes mængden af perkolat, som bortledes til spildevandsrensningsanlægget at være blevet reduceret. Ingen af delene kan dog på nuværende tidspunkt siges at være dokumenteret.

References

Jensen, J.N. (2017): Personlig kommunikation med Jørgen Niemann Jensen, Randers Affaldsterminal, Oktober 2017.

Miljøministeriet (2009): Afgørelse om Overgangsplan og revurdering for Randers Affaldsterminal, Ørneborgvej 38, 8900 Randers. Miljøministerier, Miljøstyrelsen, Plan- og virksomhedsområdet.

Randers Affaldsterminal (2013): Drifts- og sikkerhedsinstruks. Retningslinjer for arbejdet med nedsivningsanlægget (recirkulering af perkolat). Affaldsterminalen, Romalt Boulevard 64, 8960 Randers Ø.

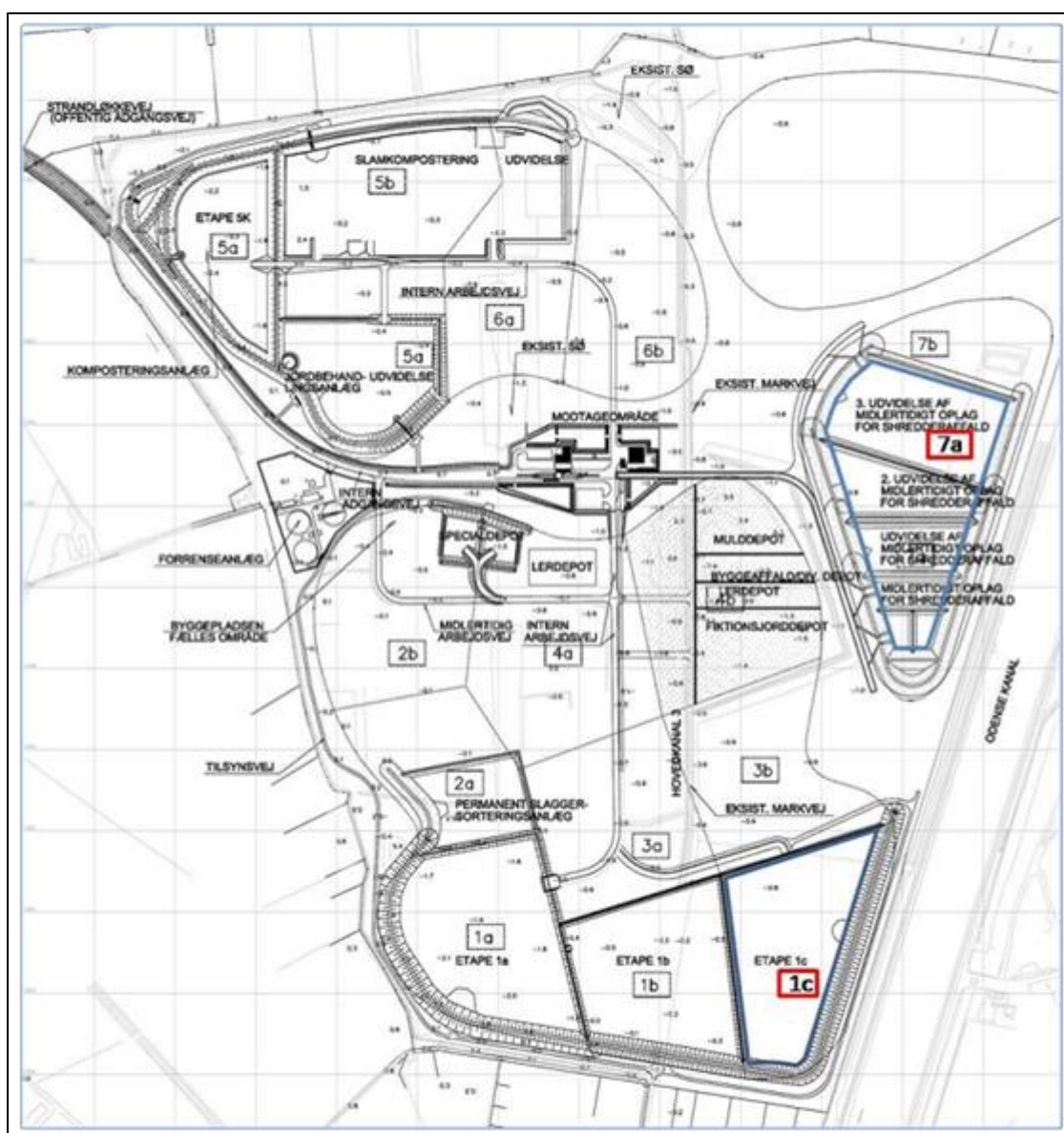
Bilag 5

Recirkulering ved Odense Nord Miljøcenter

Recirkulering af perkolat ved Odense Nord Miljøcenter

Baggrund og formål

I perioden 1994 til og med 2009 blev der deponeret omkring 589.000 tons blandet affald (hvoraf ca. 15 % var husholdningsaffald) og forurenet jord på enhed 1a ved Odense Nord Miljøcenter, se Figur 1. Overfladearealet af enhed 1a er 45.500 m², og den gennemsnitlige højde af affaldet er ca. 15 m. Enheden er udstyret med en kompositmembran bestående af 30 cm moræneler og en 0,75 mm HDPE-membran, hvorover der er anlagt et 30 cm tykt dræn- og beskyttelseslag af sand og et perkolatsamlingsystem (Odense Renovation, 2009).

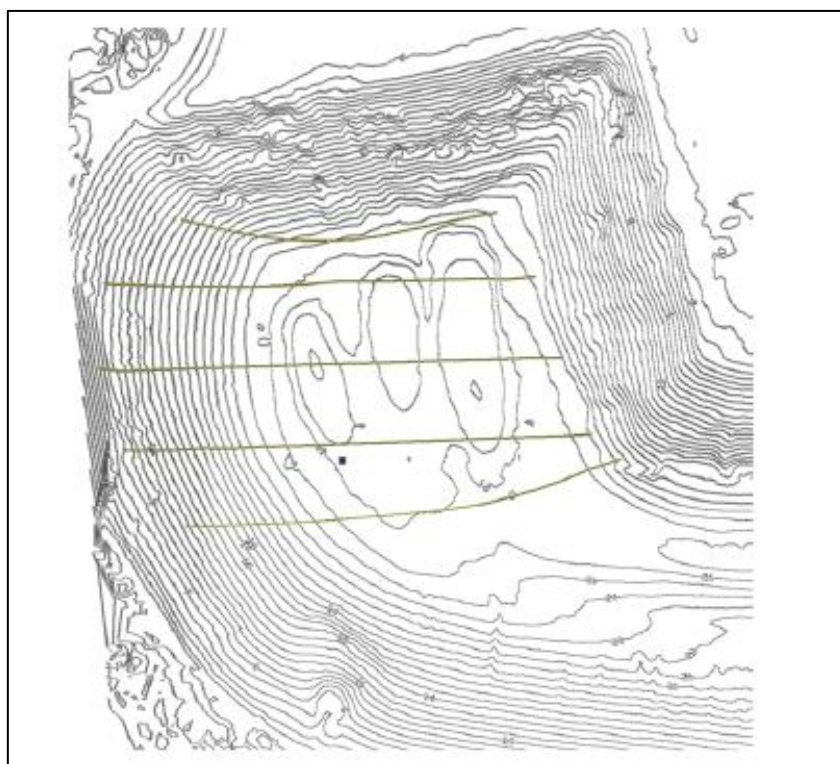


Figur 1: Odense Nord Miljøcenter med enhed 1a i det nederste venstre hjørne.

Fra november 2016 til foreløbig juli 2017 har Odense Nord udført recirkuleringsforsøg med på enhed 1a med henblik på at undersøge, om det vil være teknisk muligt at anvende eksisterende horisontale gasopsamlingsdræn i enheden til recirkulering af perkolat og derved forøge gasproduktionen (Olsen, 2017).

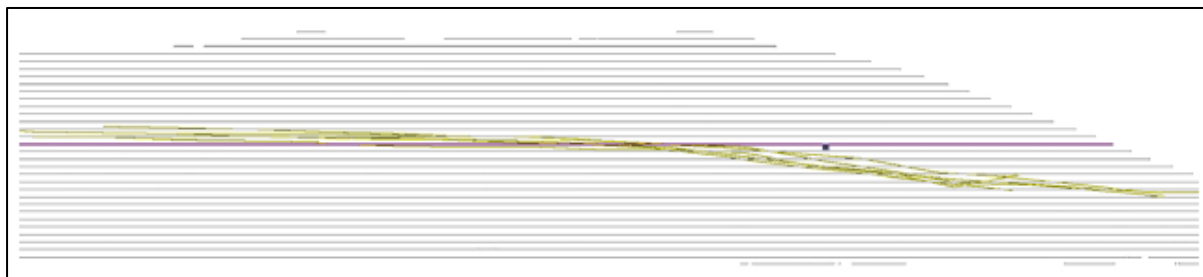
Teknisk beskrivelse af recirkuleringen af perkolat

Der er tidligere ved hjælp horisontal boring installeret fem horisontale, perforerede gasopsamlingsrør i de øvre lag af affaldet i enhed 1a (se Figur 2). Tre af rørene (1, 2 og 4 på figuren) producerede ingen gas, så det blev besluttet at anvende disse til recirkuleringsforsøget.



Figur 2: Placeringen af de horisontale gasopsamlingsdræn. Dræn 1 er længst mod nord, og dræn 5 er længst mod syd (Odense Renovation, 2017).

Perkolatet fra enhed 1a pumpes fra perkolatopsamlingsbrønden til de horisontale drænrør 1, 2 og 4, og både trykniveauet og perkolatflowet monitoreres. Perkolatpumpen styres af trykmålingen, så den kun pumper perkolatet til et tryk, der svarer til en perkolatoverflade 14 m over havniveau. Dette betyder, at de (næsten) horisontale drænrør kun vil blive fyldt op til omkring halvvejen i længderetningen (se Figur 3). Recirkuleringen finder sted inden for normal arbejdstid, dvs. 7 -16 mandag til fredag. Pumpningen er kontrolleret således, at recirkuleringen har prioritet over pumpning til spildevandsrensningsanlægget, undtagen hvis trykniveauet i de "horisontale" drænrør overstiger 14 m, eller hvis flowet ind i perkolatopsamlingsbrønden overstiger recirkuleringspumpens kapacitet.



Figur 3: Tværsnit af enhed 1a set fra nord. Den vandrette violette linje indikerer 14 m over havniveau (Odense Renovation, 2017).

Vand-/perkolatbalancer

Gennem perioden 2010 til og med 2014 var den gennemsnitlige årlige perkolatproduktion fra enhed 1a 2708 m³, stigende hvert år fra 1180 m³ i 2010 til 4169 m³ i 2014. I perioden fra den 13. november 2016 til den 30. august 2017 blev der i alt recirkuleret 850 m³ perkolat (Olsen, 2017).

Analyse af den hydrauliske ydelse af infrastrukturen

På trods af den begrænsede varighed af recirkuleringen, kan der foretages en vis analysering og sammenligning af den hydrauliske ydelse med erfaringer fra andre systemer. Dette er gjort i Tabel 1, hvor også de antagelser, som analysen er baseret på, er anført.

Tabel 1: Analyse af den hydrauliske ydelse.

	Værdi	Enhed
Systembeskrivelse		
Areal af enhed 1a	45.500	m ²
Mængde af affald i enhed 1a	589.000	tons
Længden af drænrørene 1+2+3	188	m
Areal, som potentielt gennemstrømmes af recirkuleret perkolat	10,000	m ²
Ydelsesdata		
Recirkuleringsperiode (13. nov. 2016 - 30. aug. 2017)	290	dage
Volumen af perkolat recirkuleret i perioden	850	m ³
Infrastrukturenydelse i perioden	16	l/m/dag
Arealbaseret ydelse i perioden	2.9	m ³ /ha/dag
	~106	mm/år

Noter:

- Længden af gasrørene er blevet estimeret ved at anvende det 100 m net, som er svagt synligt i Figur 1, gasrørsarrangementet vist i Figur 2 og placeringen af opfyldningsgrænsen vist i Figur 3.
- Det areal, som forventes at kunne gennemstrømmes af recirkuleret perkolat, er estimeret på samme måde som beskrevet under punkt 1.
- Begge estimater er nødvendigvis meget grove, men hjælper med at give en general størrelsesorden af den hydrauliske ydelse.

Recirkuleringen på Odense Nord Miljøcenter er på et tidligt stadie, men infrastrukturenydelsen og den arealbaserede recirkuleringsydelse for den korte periode kan ses at ligge inden for det variationsinterval, som er rapporteret for andre systemer. Den arealbaserede ydelse omregnet til en infiltrationsrate

på ~106mm/år er dog lav sammenlignet med andre recirkuleringsprojekter og mindre end den forventede årlige nettonedbør i området.

Udfordringer og eventuelle tiltag

Der er ikke rapporteret om nogen væsentlige udfordringer.

Opnåelse af formålene med recirkuleringen

Recirkuleringsforsøget fortsætter, men på indeværende tidspunkt har forsøgsperioden været for kort til at kunne ligge til grund egentlige analyser.

References

Odense Renovation (2009): Bilag 15 til Overgangsplan for Odense Nord Miljøcenter, Strandlækkevej 100, 5270 Odense N. Odense Renovation A/S.

Odense Renovation (2017): Recirkulering og indbygning af perkolat på etaper for blandet affald. Odense Renovation A/S.

Olsen, R. (2017): Personlig kommunikation med Rasmus Olsen, Odense Renovation A/S, Oktober 2017.

