



**TEKNOLOGISK
INSTITUT**

Massebalancer af gummigranulat, som forvinder fra kunstgræsbaner - med fokus på udledning til vandmiljøet

En litteraturgennemgang

Titel:

Massebalancer af gummigranulat, som forvinder fra kunstgræsbaner - med fokus på udledning til vandmiljøet

Udarbejdet for:

Genan A/S
Jegindøvej 16
8800 Viborg

Udarbejdet af:

Teknologisk Institut
Teknologiparken
Kongsvang Allé 29
8000 Aarhus C
Bio- og Miljøteknologi

December 2018 (Revideret i marts 2019)

Forfattere:

Hanne Løkkegaard
Bjørn Malmgren-Hansen
Nils H. Nilsson

Indholdsfortegnelse

1	Resumé.....	4
2	Summary	6
3	Baggrund/indledning.....	9
4	Massebalancer for mikrogummi med fokus på udledning til vandmiljøet	10
4.1	Forbrug af gummigranulat	11
4.2	Kompaktering (Komprimering)	13
4.2.1	Teoretiske betragtninger vedr. effekt af dekomprimering og tilførsel af infill	14
4.3	Aflejrning på jorden og befæstede områder	15
4.4	Afsætning på tøj og sko	16
4.5	Afsætning ved snerydning	17
4.6	Afledning til kloaksystem.....	18
4.6.1	Afløbsforhold i Danmark	19
4.6.2	Målinger af afledning af granulat til kloaksystem.....	20
5	Massebalance baseret på det bedste skøn fra litteraturen	22
5.1	Vurdering af udledning af gummigranulat til vandmiljøet	22
5.2	Den samlede massebalance for gummigranulatet	23
	Forkortelser	25
	Bilag 1 Spørgeskemaundersøgelse af forhold vedrørende opbygning af danske baner.....	27

1 Resumé

Der er de seneste år kommet fokus på spredning af mikroplast til vandmiljøet.

Der er i den forbindelse også kommet fokus på den mikroplast, der havner i naturen, herunder gummigranulat fra kunstgræsbaner.

Kunststofgræsbaner er blevet populære såvel i Danmark som i den øvrige verden.

Til en typisk 11-mandsbane bruges 60-120 tons gummigranulat, og der tilføres løbende granulat (refill) til banerne for at opretholde en tykkelse af gummigranulatlaget, så kunstgræsfibrene stadig opnår den nødvendige støtte fra granulatet, og banens spilleegenskaber opretholdes.

Størstedelen af det granulat, der benyttes i kunstgræsbaner, er ELT-granulat ('End of Life Tires'-granulat), som er baseret på neddelte, udtjente bildæk. I nærværende rapport er udelukkende fokuseret på ELT-granulatet på kunstbanerne. Det skal nævnes, at ELT-granulat i litteraturen ofte benævnes SBR-granulat (Styrene-Butadiene-Rubber) på trods af, at der indgår flere andre gummityper i dæk. SBR-gummi indgår som hovedbestanddel i dækkenes slidbane, men også naturgummi er en væsentlig gummitype i dækkenes slidbaner.

Tidligere rapporter antager, at refill af granulat er i størrelsesordenen 3-5 ton pr. år (baseret på oplysninger fra leverandørerne). En helt ny undersøgelse, som er foretaget af Lindberg International i 2018 ved kontakt til danske aktører, opgør den gennemsnitlige mængde af refill pr. bane (11-mandsbane) til 2,2 ton. Nærværende rapport tager udgangspunkt i denne størrelse.

Nærværende rapport er desuden baseret på et litteraturstudie af dansk og international litteratur om emnet, og det kan konkluderes, at den eksisterende viden om gummigranulats spredningsveje er meget sparsom. Den eksisterende viden er baseret på et meget sparsomt antal konkrete målinger og i nogle tilfælde foreligger kun laboratorieundersøgelser. Rapporten fokuserer på spredning af mikroplast til naturen med speciel fokus på spredning til vandmiljøet og på komprimering af infill, i faglitteratur og i daglig tale benævnt kompaktering af kunstgræsbanerne, som følge af brug.

Kompakteringen er vurderet på basis af en enkelt videnskabelig artikel, som har behandlet kompaktering af gummigranulat i detaljer, men primært ved laboratorieforsøg. Der er dog også udført nogle få feltmålinger af spilleegenskaber på fire baner, som indikerer en kompaktering på 8,2-14,6 %. I nærværende rapport er det valgt at benytte de øvrige spredningsveje for gummigranulat til at beregne den mulige kompaktering, da datagrundlaget for en vurdering af kompakteringen er utilstrækkeligt. På baggrund af massebalancen vurderes det samlet, at det behov for genfyld af granulat, der pga. kompaktering opstår på en typisk dansk bane, vil ligge i intervallet 1.470-1.900 kg/år, hvilket svarer til en kompaktering mellem 13 og 17 %, hvilket er lidt højere end de intervaller der er fundet i artiklen. Det skal samtidig bemærkes, at beregninger i nærværende rapport viser, at en øgning af gummigranulatet på selve banen på mellem 1,1 og 1,9 tons/år (intervallet afhænger af øvrige tab), vil medføre, at lagtykkelsen øges over 10 år med mellem 3 og 5 mm. Det vil derfor ikke være muligt at vurdere, om der løbende sker en mindre tilførsel af gummigranulat til banen. En sådan vurdering vanskeliggøres især af, at gummigranulatet

i forvejen ligger i et ujævnt lag. Det skal endvidere bemærkes, at der i nærværende rapport ikke er medtaget kompakteringen af sandlaget, som også kan have en betydning. Derfor vurderes en kompaktering på 13-17 % at være realistisk.

Et tab til aflejring til jord og befæstede områder er skønnet til ca. 250 kg/år pr. bane, men dette er baseret på meget få målinger og er et meget usikkert skøn.

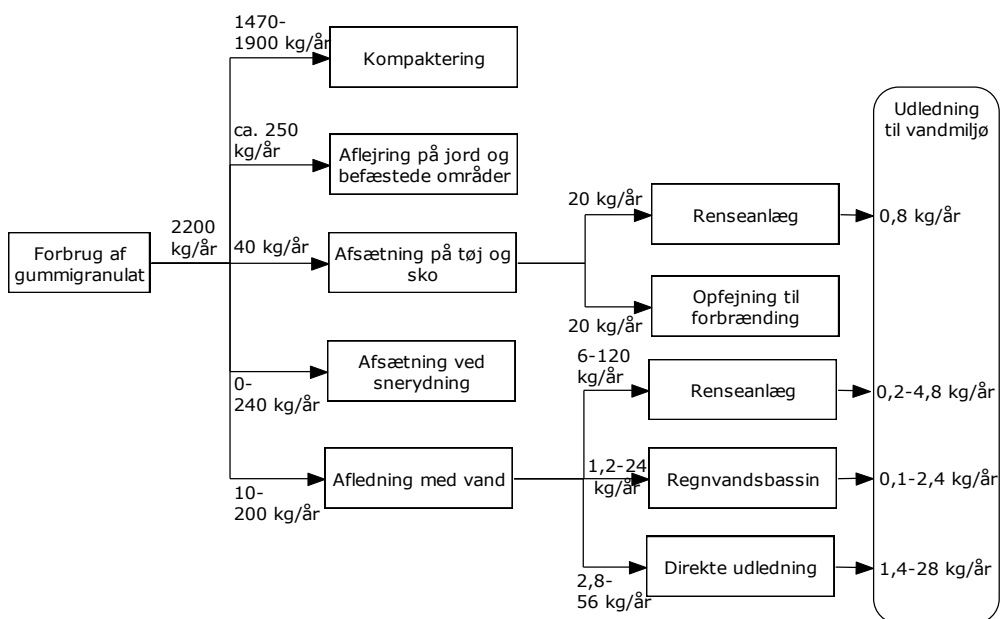
Det er ikke muligt at komme med en bedre vurdering end ca. 250 kg/år, som er målt i Holland, hvor baneopbygningen kan være anderledes end i Danmark, og det vil kræve feltmålinger at verificere tabet fra danske baner.

Tab via afsætning på spillernes sko og tøj vurderes på baggrund af en omfattende norsk undersøgelse at udgøre i gennemsnit 40 kg/bane/år, afhængigt af hvor meget banerne benyttes.

SWECO har foretaget omfattende undersøgelser af tab af infill fra kunststofbaner ved sne-rydning. SWECO har således fundet, at tab ved sne-rydning tegner sig for ca. 11 % af den tilførte infill i Sverige. Mængderne kan imidlertid være meget forskellige fra bane til bane, afhængigt af aktiviteten på banen og de klimatiske forhold. Derfor vurderes det reelle tab at variere fra 0-11 %.

Der er foretaget meget få målinger på udledningen af gummigranulat til kloak, og disse målinger medtager kun tabet til kloak og ikke tabet til vandmiljøet efter behandling i renseanlæg og regnvandssystemer. Hollandske målinger viser et tab til kloak på ca. 6-10 kg/år, mens svenske undersøgelser tyder på et større tab på 200-340 kg/år. Det samlede tab til kloaksystemet er antaget at ligge i intervallet 10-200 kg/år, hvilket medfører en udledning til vandmiljøet efter behandling i afløbssystemerne/reanseanlæggene på 2,5-36 kg/år. Der er meget stor usikkerhed om disse tal, da måledata bygger på hollandske og svenske undersøgelser, som kan være baseret på baneopbygninger, der er forskellige fra de danske. En ny undersøgelse viser, at der i Danmark er gjort mange tiltag for at undgå spredning af gummigranulat til miljøet i form af eksempelvis indhegning, nedsivning og lukkede brønde. Det kan derfor forventes, at udledningen til vandmiljøet af gummigranulat ligger i den lave ende af intervallet.

På baggrund af ovenstående tal for massebalancen er der udarbejdet en samlet massebalance for gummigranulatet, Massebalancen er vist i Figur 1.



Figur 1 Fordeling af massebalancen for gummigranulat ved inddragelse af den nyeste literatur. Tallene er baseret på de bedste skøn baseret på målinger og vurderinger, men der er store usikkerheder i tallene. For at opnå sikre tal skal der gennemføres yderligere målinger.

De store intervaller er et udtryk for at undersøgelsen bygger på meget få målinger, og der er behov for mere omfattende måleprogrammer, før der kan konkluderes endeligt på gummigranulatets spredningsveje, og hvordan mængderne fordeler sig på disse. De estimate-rede massebalancer er således det bedste skøn ud fra tilgængelige data.

2 Summary

In recent years, the spreading of microplastics to the aquatic environment has come into focus. Hence, focus has also been on the microplastics that end up in nature, among others, crumb rubber from artificial turf fields.

Artificial turf fields have become popular both in Denmark and the rest of the world.

For a typical field for 11 players, 60-120 tons of rubber granulate are used, and rubber granulate is continuously refilled to the fields to maintain the thickness of the rubber granulate layer, so that the artificial turf fibers offer the necessary support from the granulate ensuring the necessary playing properties of the field.

The largest part of the granulate used in artificial turf fields is ELT granulate ('End of Life Tires'-granulate), which is based on recycled, worn-out car tires. This report focuses entirely on ELT granulate on artificial turf fields. It must be mentioned that in literature, ELT granulate is often called SBR granulate (Styrene-Butadiene-Rubber), even though car tires consist of several rubber types. SBR rubber is the main constituent of tire tread, but natural rubber is also an important rubber type used in tire treads.

Previous reports assume that the refill of granulate reaches the scale of 3-5 tons per year (based on supplier information). In an entirely new study carried out by Lindberg International in 2018, Danish suppliers were contacted regarding the use of infill. The results of this study indicate that the average amount of refill per field (11-player field) is 2.2 tons. This report focuses on the newest study.

Furthermore, this report is based on the review of both Danish and international literature regarding this subject, and it is thus possible to conclude that the existing knowledge on the spreading patterns of rubber granulates is very limited. The existing knowledge is based on a very limited number of actual measurements, and in some cases only on laboratory tests. This report focuses on the spreading of microplastics in nature with a special emphasis on the discharge to the aquatic environment and on the compression of infill, in scientific literature and everyday language known as compaction of artificial turf fields due to usage.

The compaction is assessed on the basis of one scientific article, where compaction of rubber granulate has been discussed in detail, but primarily based on laboratory tests. A few in situ measurements have been carried out on the playing properties of four fields that indicate a compaction of 8.2-14.6%. In this report, other spreading modes of rubber granulate have been chosen to calculate the possible compaction due to insufficient underlying data for compaction assessment. Based on mass balance, the overall assessment is that the need for granulate refill due to compaction at a typical Danish field is at the interval of 1,470-1,900 kg/year, which corresponds to a compression between 13 and 17% and is slightly higher than those intervals found in the article. At the same time, it should be noted that calculations in this report show that an increase of rubber granulate on the actual field between 1.1 and 1.9 tons/year (the interval depends on additional loss) would result in an increase in layer thickness between 3 and 5 mm over a period of 10 years. Thus, it would not be possible to assess whether a small amount of rubber granulate is continuously added to the field. This type of assessment is especially impeded by the fact that rubber granulate already lies in an uneven layer. It should also be noted that this report does not include the compaction of the sand layer, which could also have an impact. Therefore, a compaction of 13-17% may be considered realistic.

Migration to the ground and paved areas has been estimated to approx. 250 kg/year per field, but it is based on very few measurements and is a very uncertain estimate.

It is not possible to achieve a better assessment than approx. 250 kg/year, as measured in the Netherlands, where field design may differ from the ones in Denmark and would require in situ measurements to verify the loss from Danish fields.

Loss via transfer onto the shoes and clothes of players is assessed according to an extensive Norwegian study and constitutes an average of 40 kg/field/year depending on the frequency of field usage.

SWECO have carried out comprehensive tests on infill loss from artificial turf fields by snow removal. Additionally, SWECO has found that the loss caused by snow removal accounts for approx. 11% of the added infill in Sweden. However, volumes may vary from one field

to the other depending on the activity on the field and climatic conditions. Thus, the real loss is considered to vary from 0-11%.

Very few measurements have been carried out on the discharge of rubber granulates into sewage, and these measurements only consider discharge to sewage and not discharge to the aquatic environment after treatment in waste water treatment plants and rainwater drain systems. Measurements carried out in the Netherlands show that the discharge to sewage is approx. 6-10 kg/year, while Swedish tests indicate a greater loss of 200-340 kg/year. The total loss to sewage systems lies at the interval of 10-200 kg/year, which leads to a discharge to the aquatic environment after treatment in sewage systems/waste water treatment plants of 2.5-36 kg/year. The uncertainty of these figures is very high, since measurement data are based on Dutch and Swedish tests that may be based on a field design which differs from the Danish fields. A new study shows that many measures have been taken in Denmark to avoid the spreading of rubber granulates to the environment, e.g. in the form of enclosures, seepage and closed wells. Therefore, it may be expected that the discharge of rubber granulates into the aquatic environment is at the low end of the interval.

Using the above figures for mass balance, a total mass balance for rubber granulates has been created: the mass balance is shown in 2.

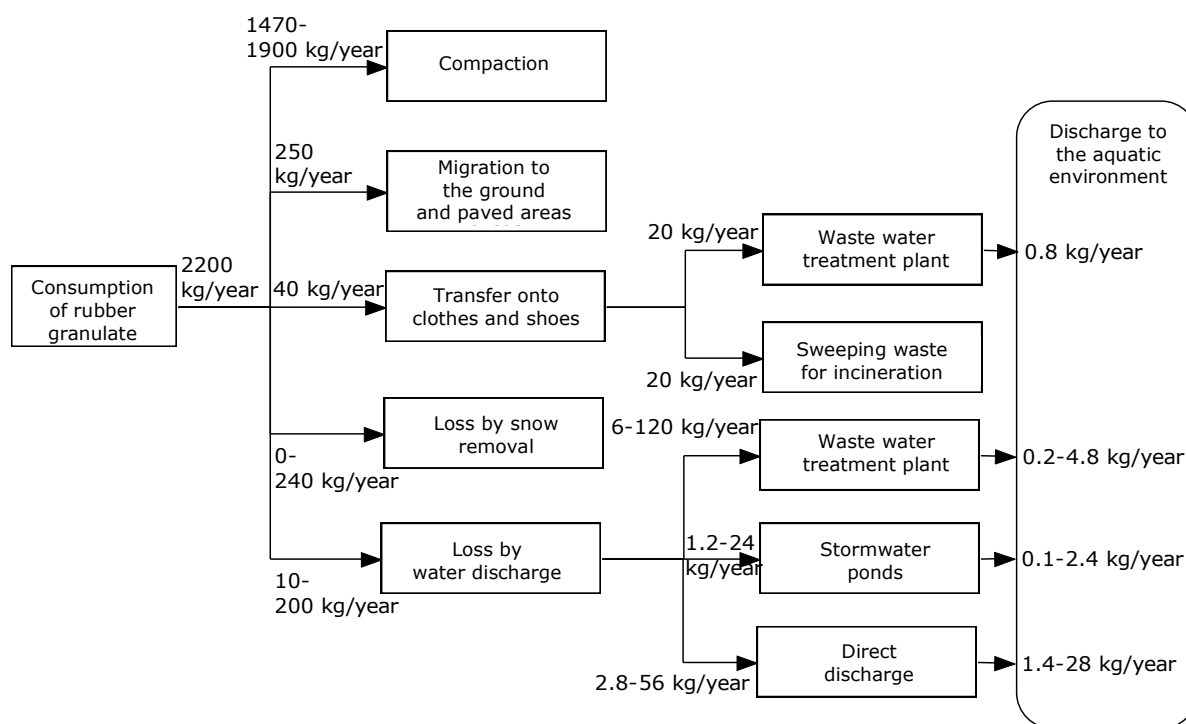


Figure 2. Division of mass balance for rubber granulate according to the newest literature. Numbers are based on the best estimate based on measurements and assessments, but the uncertainty of these numbers is high. To reach reliable results, additional measurements must be carried out.

The large intervals signal that the study is based on very few measurements and that more comprehensive measurement programs are necessary, before a conclusion can be reached on the spreading ways of rubber granulates and how amounts are distributed. The mass balances are the best estimate based on the available data.

3 Baggrund/indledning

Genan A/S har anmodet Teknologisk Institut om at foretage en kritisk vurdering af massebalancer for gummigranulat fra kunstgræsbaner med fokus på tab til naturen i form af mikrogummi, især med fokus på udledning til vandmiljøet.

Formålet med projektet er at foretage en litteraturgennemgang af national og international litteratur, der omhandler spredning af gummigranulat fra kunstgræsbaner til miljøet, med henblik på at opnå større viden om massebalancerne for tab af gummigranulat fra kunstgræsbaner til naturen.

Litteraturgennemgangen vedr. gummigranulatets vej til specielt vandmiljøet fokuserer på den nyeste litteratur, som primært baseres på danske, norske, svenske og hollandske undersøgelser. Øvrige lande har endnu ikke haft samme fokus på udledningen af gummigranulat til vandmiljøet. I gennemgangen inddrages desuden en rapport udarbejdet af Lindberg International, 2018 for Genan med henblik 1) at estimere den mængde gummigranulat, der bruges til vedligehold af danske baner (refill), og 2) at tilvejebringe viden om

vedligeholdelsesaktiviteterne på danske kunstgræsbaner. Rapporten er baseret på kontakt til 81 klubber med 89 kunstgræsbaner svarende til 26 % af de danske baner.

Litteraturgennemgangen omfatter også en helt ny dataindsamling for 256 kunstgræsbaner i Danmark gennemført i 2018 for en række parametre af betydning for spredning af gummifill (se bilag 1).

Undersøgelsen omfatter størrelsen af banerne, mængden af gummigranulat infill og sandinfill, infilltype (ELT, TPE, EPDM), opbygning af banerne, herunder eventuel anvendelse af PAD eller E-layer, og begrænsende foranstaltninger mht. til at forhindre spredning af infill til naturen samt detaljer vedrørende vandafledningsforhold.

Baggrunden for Genans ønske om en kritisk gennemgang af litteraturen er, at virksomheden ønsker en opdatering af massebalancerne for gummigranulat baseret på de mest valide målinger og vurdering af gummigranulatets spredningsveje.

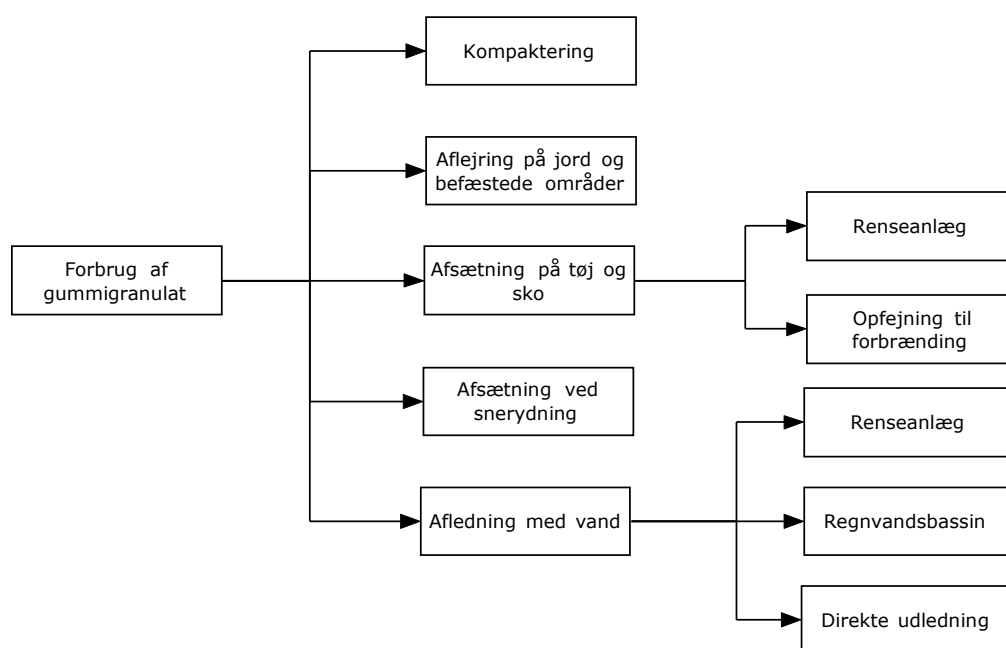
Gennemgangen af litteraturen og vurderingerne sker udelukkende for de såkaldte 3G-baner (3.-generationsbaner), som er langt den hyppigst anvendte type af kunstgræsbane i Danmark. 3G-baner er bygget med et afløbssystem/dræn i bunden. Det syntetiske græs består typisk af plastfibre af polyethylen fastgjort til et perforeret backing, som også kan være baseret på polyethylen for at lette recycling af kunstgræstæppet. Infill i form af granulat og sand anvendes mellem fibrene for dels at stabilisere fibrene, dels at opnå de ønskede spilletekniske egenskaber. Levetiden for en kunstgræsbane antages i nærværende beregninger i gennemsnit at være 10 år.

En vurdering af mængden af slidpartikler fra de kunstige græs fibre og deres eventuelle spredning til miljøet indgår ikke i nærværende litteraturstudie.

En vurdering af kompakteringen af sandet indgår heller ikke.

4 Massebalancer for mikrogummi med fokus på udledning til vandmiljøet

Teknologisk Institut har foretaget en nærmere vurdering af massebalancerne for mikroplast (i denne undersøgelse udelukkende i form af ELT-gummigranulat fra udtjente dæk) for på baggrund af litteraturen at foretage en mere omfattende vurdering af gummigranulatets spredningsveje i naturen, se Figur 3.



Figur 3 Gummigranulatets spredningsveje.

Der er i projektet ikke vurderet på afsætning af gummipartikler til grundvandet, da dette forventes at være negligibelt.

4.1 Forbrug af gummigranulat

Det er vanskeligt at udarbejde en præcis opgørelse over, hvor meget gummigranulat der tilføres kunstgræsbanerne årligt, da variationerne mellem banerne og driftsrutinerne er store. Det skyldes bl.a. vejrlig (sne og regn), brugsintensitet og banens opbygning; fx om der på banen benyttes et stødabsorberende underlag (schock-PAD), som er opskummet plast, eller E-layer, som er gummigranulat med polyurethan som binder. Erfaringerne viser, at der kræves mindre mængde infill af gummigranulat på baner med PAD- og E-layer-underlag, da begge typer underlag medvirker til at skabe elasticitet, så gummi ikke komprimerer i så høj grad. Stødabsorberende PAD og E-layers anvendes typisk ved dyre infill som EPDM- og TPE-granulat (IVL C 183) for at reducere kompakteringen og dermed behovet for infill. Brug af PAD finder dog også sted ved infill baseret på ELT-granulat. En helt ny undersøgelse af forholdene i Danmark viser, at der for 256 baner er ca. 16 % af banerne, der anvender PAD, og yderligere ca. 23 %, der anvender et elastisk underlag (E-layer). Da ca. 90 % af banerne er med ELT-infill, er det en betragtelig del af disse baner, der anvender et elastisk underlag til at mindske kompakteringen og dermed reducere mængden af infill.

Typisk fyldes banerne op med infill, så 15-20 mm kunstgræs fibre er fri foroven. REF = Smart Connection Consultancy - januar 2017 (www.smartconnection.net.au).

Det skal også medtages i betragtningerne, at der benyttes forskellig praksis i de forskellige lande med hensyn til vedligehold, ligesom forskel i vejrliget som tidligere nævnt også har indflydelse på mængden af forbrugt gummigranulat til refill. Endelig kan alderen på banerne samt græstæppets konstruktion også influere på behovet for infill.

Der kan være tale om, at man nogle måneder efter, at banerne er taget i brug, påfylder ekstra infill i forbindelse med en dekompaktering for at kompensere for, at infillet er blevet kompakteret i spilleperioden, hvormed der ikke er nok infill til at støtte fibrene tilstrækkeligt. Behovet øges når der er fugt tilstede under installeringen.

I forhold til anlægsudgifter og øvrige driftsomkostninger er udgifterne til refill beskedne, hvorfor forbruget af infill på den baggrund kan være højere end påkrævet i forhold til banernes spilleregnet.

I nærværende litteraturstudie er der fundet følgende kilder med angivelse af årligt tilførte mængder gummigranulatinfill i Danmark, Sverige, Norge og Holland.

Tabel 1 Mængder af gummigranulatinfill pr. år. Data i tabellen er baseret på fuldstørrelsesbaner.

Kilde	Land	Bane/alder	Materiale	Lav kg/år	Middel kg/år	Høj kg/år
(Kjær, 2013) og (Lassen, 2015)	DK	DBU - overslag	ELT	3.000	4.000	5.000
(Lindberg, 2018)	DK	Data fra 89 baner	ELT		2.200	
(Wallberg, 2016)	S	En 2* 11-mandsbane	EPDM	3.000	3.500	4.000
(Magnusson, 2017)	S			2.000	2.500	3.000
(Hofstra, 2017)	NL	Rotterdam/1	ELT		580	
(Hofstra, 2017)	NL	Amsterdam/9	ELT		2.200	
(Hofstra, 2017)	NL	Hoogeveen/10	ELT		0	

I en nylig dansk undersøgelse (Lindberg, 2018) er der foretaget en forespørgsel til 81 klubber med 89 kunstgræsbaner svarende til 26 % af de danske baner. Ud fra denne undersøgelses resultat er der opnået en gennemsnitlig mængde tilsat gummigranulat til infill på 2,2 ton/år inklusive vægtning med de 29 baner, der ikke har tilsat infill. Denne mængde er lavere end mængden angivet i (Kjær, 2013) og (Lassen, 2015).

I (Lindberg, 2018) er det angivet forbrug af infill baseret på data fra de tre danske leverandører af gummigranulat, som viser, at disse i 2017 solgte 590 tons infillmateriale til vedligehold af eksisterende baner. De forespurgte klubber har et gennemsnitligt forbrug på 2,2 tons/år pr. bane, hvilket svarer til en samlet tilførsel i Danmark på 750 tons/år til vedligehold af baner. Forhandlernes forventninger til forbrug af infill er 2,5-5 (3,75) ton/bane/år (Lindberg, 2018). Den anbefalede årlige tilførsel af infill er således ca. 70 % større end den opgivne tilførsel hos de adspurgte sportsklubber. De opgivne tilsatte 2,2 tons refill pr. år pr. bane anses som et mere validt grundlag at arbejde videre med end en anbefalet tilførsel.

I en svensk undersøgelse (Magnusson, 2017) angives en typisk refillmængde pr. bane på 2-3 ton pr. bane pr. år. Mængden er baseret på forespørgsler til forskellige kommuner.

I en Hollandsk undersøgelse (Hofstra, 2017) er angivet tilsatte mængder fra 0-2.200 kg/år for tre baner. På baggrund af det begrænsede antal baner i den hollandske undersøgelse vurderes det ikke muligt at generalisere ud fra det hollandske forbrugsmønster, men det viser dog, at der er ganske store variationer i praksis med hensyn til tilført infillgranulat.

Samlet set er det bedste skøn at arbejde videre med den danske undersøgelse, der angiver et gennemsnitligt forbrug på 2,2 tons/bane pr. år (Lindberg).

4.2 Kompaktering (Komprimering)

Når kunststofbanerne tages i brug, sker der en ældning af banerne som følge af påvirkning fra vejrliget og af aktivitet på banernes græstæpper. Især for sidstnævntes vedkommende forårsages ældningen af den mekaniske påvirkning, som græstæpperne udsættes for af spillerne.

For infill sker der som følge af spillet på banerne en forøgelse af rumvægten på grund af komprimering af infillet. Komprimering betegnes som tidligere nævnt kompaktering.

Med hensyn til vejrliget vurderes det, at det især er regnvejr, der fremmer en kompaktering, da vand virker som et smøremiddel på gummi og derved letter en proces, hvor gummigranulatpartiklerne kan glide mellem hinanden og kompaktere (stma.org, 2018).

Ældningen giver sig over tid udtryk i tiltagende hårdhed af banerne og forringede spilleegenskaber. FIFA har opstillet krav for spilleegenskaberne, som afhænger af, om banerne skal anvendes til bredde- eller topfodbold. Der findes forskellige metoder til måling af hårdheden (F355, 2016). Spilleegenskaberne testes ved måling af resiliensen af en bold, der droppes fra en bestemt højde. Der anvendes også en kunstig atlet til måling af spilleegenskaberne i forhold til beton som uelastisk reference.

Et betydeligt bidrag til ældningen er, at der sker en kompaktering af gummigranulatet under brug. Ved kompakteringen omfordeles granulat-kornene så luftmellemmrummene mindskes og rumvægten øges. Der vil også kunne ske en opblanding med sandet under kompakteringen.

Hvis alle mellemrummene kunne fjernes ville det resultere i en rumvægt af granulatet på ca. 1,16 g/cm³, som er en gennemsnitlig vægtfylde for gummi fra dæk. Dette er naturligvis ikke muligt på grund af gummigranulatets overfladestruktur, og fordi gummi ikke kan komprimeres.

En typisk rumvægt for ELT-gummigranulat til kunstgræsinfill ligger på ca. 0,45 g/cm³.

Gummigranulatet vil iflg. (Flemming, Forrester, & McLaren, 2015) baseret på belastningscykler i laboratorieforsøg kunne kompakteres fra 0,45–0,50 g/cm³ (løs tilstand) til en vægtfylde på 0,65–0,73 g/cm³ (kompakteret tilstand).

Referencen (Flemming, Forrester, & McLaren, 2015) er den eneste kilde, som går i dybden med hensyn til faktorer, der spiller ind ved kompakteringsprocessen. Forskergruppen har bl.a. gennemført målinger af vægtfylden:

- i løs tilstand
- efter kompaktering med en tromle et vist antal gange (0, 50 og 500 gange)
- efter 10 dropmålinger (svarende til stampning)
- efter oprivning af forsøgsbanen med en rive.

Dropmålingerne er foretaget efter en standardmetode, ved at man lader et 20-kg-lod, som er forbundet til en fjeder med accelerometer falde 55 mm. Med målingen bestemmes kraftreduktionen, når loddet stoppes af gummigranulatet, og returkraften, når loddet hopper op igen. Selve testen simulerer en brug, hvor banen kompakteres af spillerne og herefter oprives. Af artiklen fremgår, at den løse vægtfylde er $0,46 \text{ g/cm}^3$.

Efter kompaktering med 50 tromlinger er vægtfylden steget til ca. $0,53 \text{ g/cm}^3$ og efter 500 tromlinger til $0,64 \text{ g/cm}^3$. Ved dropmålinger kan densiteten stige til $0,73 \text{ g/cm}^3$ og ved dekompaktering opnås $0,46 \text{ g/cm}^3$ uden tromling, $0,47 \text{ g/cm}^3$ efter 50 tromlinger og $0,51 \text{ g/cm}^3$ efter 500 tromlinger.

De relative ændringer i densitet for kompakteret tilstand til dekomprimeret tilstand er 0 % uden tromling, 12,7 % ved 50 tromlinger og 25,5 % ved 500 tromlinger. Af testen fremgår således, at densiteten langsomt stiger ved en laboratoriesimuleret kompaktering/dekompaktering. Stigningen i vægtfylde er ulineær.

Om data kan overføres til fuldskalabaner vil afhænge af de anvendte vedligeholdelsesprogrammer. Således blev der i studiet målt ændringer på fire kunststofbaner i relativ densitet (kompakteret tilstand i forhold til dekomprimeret tilstand) fra 8,2 til 14,6 % (ca. 3-4 mm ændring i lagtykkelse dog inkl. sand). Dette svarer nogenlunde til effekten efter 50 tromlinger i laboratorieeksperimentet. Målingerne har en ret stor standardafvigelse på 1,6-2,3 mm i lagtykkelsen, hvilket må forventes, når der er tale om en bane, hvor infillaget rykker sig rundt under spil eller måske ikke fordeles 100 % jævnt.

Ved vedligehold af kunstgræsbaner er det som følge af kompakteringen nødvendigt at foretage en oprivning af banen, så granulatet løsnes og elasticiteten og hermed spilleegenskaberne optimeres, ligesom dræningsegenskaberne gennem banen genskabes.

Vedrørende brug af oprivning er det i (Lindberg, 2018) angivet, at 93 % af 81 forespurgte danske klubber benytter oprivning i forbindelse med vedligehold, hvorfor tallene med oprivning skal benyttes under danske forhold.

4.2.1 Teoretiske betragtninger vedr. effekt af dekompaktering og tilførsel af infill

I det følgende er foretaget overslagsberegninger vedr. effekten af kompaktering m.m.

I beregningerne forudsættes det, at der typisk benyttes en samlet mængde infill på 110 ton pr. bane (Lassen, 2015) med en løs densitet på $0,46 \text{ g/cm}^3$ inden kompaktering og en typisk lagtykkelse af infill for en 3G-bane på ca. 30 mm (Flemming, Forrester, & McLaren, 2015). Ved tilsætning af 2,2 ton/år, som blev fundet i (Lindberg, 2018), ændres lagtykkelsen med 0,6 mm pr. år, hvis der ikke forekommer tab, og banen i øvrigt oprives til nogenlunde samme lagtykkelse/densitet hvert år. En så lille forskel kan givetvis ikke skelnes.

Det vides dog, at der opstår et vist tab til omgivelserne ved brug af banen. Når der er tab af materiale til omgivelserne, reduceres mængden, som ophobes på banen. I den

hollandske undersøgelse (Hofstra, 2017) anslås tabet at være i størrelsesordenen 330 kg/bane, mens det i (Lassen, 2015) antages at være 50 % af tilført infill.

Hvis der forudsættes et tab svarende til den hollandske undersøgelse på 330 kg/år, vil ophobningen af infill på banen øges med 17 % over 10 år (5 mm højere lag, hvis densiteten holdes ved oprivning). Ved et tab på 50 % svarende til 1.100 kg/år vil ophobningen svare til 10 % over 10 år (3 mm højere lag, hvis densiteten holdes ved oprivning). En ophobning på 3-5 mm vurderes i begge tilfælde at kunne registreres med god målenøjagtighed, men det vurderes ikke at være nok til, at den ansvarlige for drift og vedligehold af banen vil bemærke ændringen.

I (Flemming, Forrester, & McLaren, 2015) anføres det, at vægtfylden - i et laboratorieeksperiment - kan stige over tid baseret på et antal tromlinger og efterfølgende oprivning. Der er imidlertid ikke data for, om en fuldskalabanens oprindelige densitet genetableres fuldstændigt ved normal praksis med oprivning. Der skal ikke meget kompaktering til for at reducere laghøjden med de 10-17 %, som tilføres over 10 år. Således blev det vist ved laboratorieforsøg, at kunstgræsbaner forholdsvis nemt kan kompakteres med 17 % ved 50 tromlinger (0,46 til 0,538 g/cm³).

Benyttes den endelige massebalance fra Figur 2 til at fastlægge kompakteringen, kan det beregnes, at kompakteringen skal svare til 1.460 kg/år – ca. 1.900 kg/år i ophobet materiale, hvilket betyder, at der kræves en kompaktering på 13-17 % for at holde samme laghøjde efter oprivning.

De beregnede tal for kompakteringen via massebalancen vurderes at ligge lidt højere i forhold til de målinger, der er foretaget af (Flemming, Forrester, & McLaren, 2015). De lidt højere tal kan også henføres til at der over årene sker en lille tilvækst af granulatlaget, som ikke umiddelbart kan registreres af driftspersonalet. Det skal også bemærkes, at den faktor, at fordelingen af infill på banerne er uensartet, kan spille ind. Endelig er der i ovenstående vurdering ikke medtaget en eventuel kompaktering af det underliggende sandlag. De beregnede tal for kompakteringen vurderes derfor at ligge inden for et realistisk interval.

Et bedre estimat kan kun opnås ved grundige undersøgelser, hvor især afgivelse af granulat til omkringliggende arealer og til spildevand undersøges. Ud fra målinger af mængden af infill på banen før og efter en given tidsperiode og tilførte mængder infill i perioden kan der foretages en verificering af, om massebalancen for banen stemmer.

4.3 Aflejring på jorden og befæstede områder

Infillgummigranulat kan tabes fra kunstgræsbanerne til de nærmeste opgivelser i form af fx græsbælter og flise gange. I et hollandsk studie (Hofstra, 2017) har man målt tab til græsbælte og befæstet areal (fliser) for tre hollandske baner.

For flisearealer er overflader på 1 m² undersøgt for mængde af infill. I græsbælterne er der foretaget prøvetagning i 0,5 m bredde og 5 cm dybde.

Samlet måles der i undersøgelsen spredninger til fliser og græs på 260-300 kg/år.

Tabel 2 Tab af gummigranulat til næromgivelserne.

Bane	Tab græsbelte kg/år	Tab befæstet areal kg/år
Rotterdam	260	1
Amsterdam	240	60
Hoogeveen	240	40

I (Lindberg, 2018) er angivet citater fra interview. Nogle af de adspurgte svarer, at de fejer det gummigranulat, der ligger på fliserne, sammen, og hvis granulatet ikke er beskidt, føres det ind på banen igen.

Et tab til aflejring til jord og befæstede områder er skønnet til ca. 250 kg/år pr. bane, men dette er baseret på meget få målinger og er et særdeles usikkert skøn.

I Danmark har man indhegnet eller delvis indhegnet et meget stort antal baner (over 90 % - se bilag 1). For ca. 20 % af banerne er der etableret infillbarrierer og for ca. 20 % sluser ved udgangen. Det må på den baggrund forventes, at tabet til naturen ikke er højere end de ca. 250 kg/år, der fremgår af den hollandske undersøgelse.

Det kræver imidlertid feltmålinger at kunne verificere tabet fra danske baner.

4.4 Afsætning på tøj og sko

Der er med hensyn til afsætning af infillgranulat stor divergens mellem de litteraturkilder, der er fundet, med hensyn til mængden af infill, der bringes ud af kunstgræsbanerne som følge af, at gummigranulatet hæfter til tøj og fodtøj.

Et fællestræk, som de fleste påpeger, er dog, at det især er i fugtigt vejr, at granulatet klæber til fodtøj og tøj.

En del af gummipartiklerne vil ende i omklædningsrummet, hvor de vil blive opfejret eller støvsuget op og sendt til affald. Herudover må det forventes, at yderligere partikler vil falde af tøj og sko på vej til hjemmet eller i hjemmet, hvor partiklerne vil blive opfejret, støvsuget eller fjernet med spildevand ved bl.a. vask af tøj og derved ender i renseanlægget, hvor hovedparten tilbageholdes.

Der er foretaget studier i både Norge, Sverige og Holland.

Den norske undersøgelse er langt den grundigste af de tre studier (Forskningskampanjen, 2017) af opsamlede mængder gummipartikler. I undersøgelsen har deltaget 286 skoler fra 144 kommuner. Data er baseret på 592 kampe på 343 baner og med 12.591 spillere. Efter hver kamp har spillerne opsamlet alle partikler fra tøj og sko og opmålt rumfanget i et måleglas. Resultaterne varierer fra 1,4 ml i tørt vejr til 3,7 ml i vådt vejr med et gennemsnit på 2 ml pr. spiller pr. kamp. Dette svarer til ca. 0,9 g pr. spiller pr. kamp. Data er omregnet til et tab på 40 kg/bane/år.

I den hollandske undersøgelse (Hofstra, 2017) er der ud fra tab fra alle spillere på et hollandsk junior A-hold beregnet et tab på 12 kg/bane/år. I den svenske reference (Wallberg, 2016), som ikke er et egentligt studie, er der antaget et tab på 10 gram pr.

spiller pr. kamp. Baseret på dette tal ville fås et tab på 440 kg/bane/år. Det antagne tab vurderes som overvurderet i forhold til den norske undersøgelse.

Sammenfattende må det konkluderes, at den norske undersøgelse er den mest valide på baggrund af det omfattende statistiske grundlag, der er tilvejebragt. Derfor vurderes tabet fra fodtøj og tøj at være 40 kg/bane/år.

4.5 Afsætning ved snerydning

Snerydning nævnes af flere kilder som en mulig og væsentlig kilde til fjernelse af infill fra kunstgræsbanerne. Men der er også gode bud på, hvordan denne kilde til spredning kan begrænses.

Det er dog svært at sætte konkrete tal på tab af infill fra snerydning, da det er afgørende for tabets størrelse, hvor meget sne der falder i de enkelte år, og inden for samme land kan der være store regionale forskelle på snefaldet. Kunstgræsbanerne bruges i høj grad i vintersæsonen, hvorimod de baner, der er baseret på naturgræs, er lukket. Der er dog nogle kunstgræsbaner, som lukkes om vinteren.

Den vedligeholdelsespraksis, de enkelte baner er underlagt ved snefald, kan også variere meget. Praksis afhænger bl.a. af, hvor gode muligheder der er for oplag af opsamlet sne i nærheden af banen, hvor sneen midlertidig kan oplagres, indtil den smelter. Det er ligeledes afgørende, hvor gode muligheder, der er for at forhindre tilsmudsning af snebunken i oplagringsperioden (blade og andre vegetationsrester m.m.).

Leverandører af kunstgræsbaner har også snerydning som en del af deres vejledning for vedligehold. Generelt anbefales det at benytte sneblæser, da man hermed belaster banen mindst muligt.

Pulversne kan fjernes med en snemaskine med roterende børste, men det er ikke muligt for våd og tung sne. Her kan det være nødvendigt at anvende en sneplov. Ploven må ikke være for tung, og arbejdshøjden skal være mindst en centimeter over fiberhøjden. Sneploven skal desuden være gummieret eller forsynet med andet blødt materiale.

Ved store snemængder skal der iflg. vejledningen søges professionel hjælp.

I (Lindberg, 2018) er der seks citater, der vedrører vinterdrift af kunstgræsbaner. I et enkelt citat fra interviews med 81 klubber anføres det, at man skovler sneen over på et stykke kunstgræs a 20 x 20 meter, som er opvarmet. Når sneen er smeltet, børstes infill tilbage på banen. Det anslås af denne ene interviewede også, at man taber 1 ton infill i gennemsnit pr. år på grund af snerydning og fjernelse med sko og tøj.

Generelt fjerner man sneen på forskellig vis fra banerne, og når sneen er smeltet, bringes det infill, der er ført væk med sneen, tilbage til banen. En enkelt kilde anfører, at man bruger en sneslynge, som kaster sneen langt væk fra banen, hvorfor infill indeholdt i sne ikke genanvendes i banen. Brug af sneslynge frarådes i flere kilder.

I (Wallberg, 2016) anfører SWECO, at der ved hver plovning af sne fjernes ca. 20-30 liter infill fra banerne, men tilføjer også, at en del af infill føres retur til banerne. Ved 'blød' sne er mængden af infill, der fjernes, noget større. SWECO anslår, at 11 % af tab af infill fra kunststofbanerne skyldes snerydning, men at mængden kan være meget forskellig fra

bane til bane, afhængigt af aktiviteten på banen. Tabet af infill, som SWECO er nået frem til, er baseret på interviews med driftspersonale for kunstgræsbaner i forskellige svenske kommuner og ved at antage, at 1/3 tilbageføres til banerne, og 2/3 ender som affald.

Mange svenske baner har ikke vinterdrift, og tabet for disse er derfor lig nul. Den bane, som er genstand for Widströms studie, er etableret i 2013 og plejes omhyggeligt, og der har ikke været behov for refill indtil juni 2016. Banen er beliggende i Södertälje Kommune ikke langt fra Stockholm.

Meget interessant er konklusionerne i Planmiljø 2018 (B. Bauer et al., 2018).

På rapportens side 11 anføres det, at vedligehold af kunstgræsbanerne i Norge især om vinteren er en meget vigtig faktor i relation til spredning af mikroplast i form af infillmateriale. Det har meget stor betydning, om banerne er placeret i den kolde eller den varme del af Norge. De kystnære baner har mindst snefald og taber mindst infill, hvorimod de nordligt placerede baner inde i landet taber granulat ved snerydning.

Det anføres, at man blandt de kystnære baner har haft fire baner, der har været i drift i 10 år, og at de vejede eksakt det samme ved recycling, som da de var nyanlagte, og det nævnes, at disse baner slet ikke er blevet tilført refill. For de kystnære, varmt placerede baner er mængden af refill som følge af vinterrydning derfor lav. De nordlige, koldt placerede baner kræver ca. 10-20 gange mere tilført infill som følge af snerydning. En løsning på det større tab er en bedre kontrol af snerydningen, anføres det. Der er dog ikke i rapporten anført en egentlig massebalance, ej heller mængder af tilførsel af infill pr. bane pr. år.

Samlet må det konkluderes, at man ved uhensigtsmæssig snerydning, fx ved brug af sne-slynge, kan have et relativt stort tab af granulat i strenge vintre med meget sne. Med det mildere vinterklima, Danmark er på vej imod, må det forventes, at tab af infill fra danske baner vil blive mindsket i årene fremover svarende til Norges erfaringer med kystnære baner. Ved snerydning er det samtidig forholdsvis simpelt at indføre vedligeholdsrutiner, der eliminerer tabet af infill ved rydning (Miljøstyrelsens Vejledning, 2018) (P. Sundt, 2016).

Det vurderes, at tab ved snerydning kan ligge i intervallet 0-11 % af den tilførte infill.

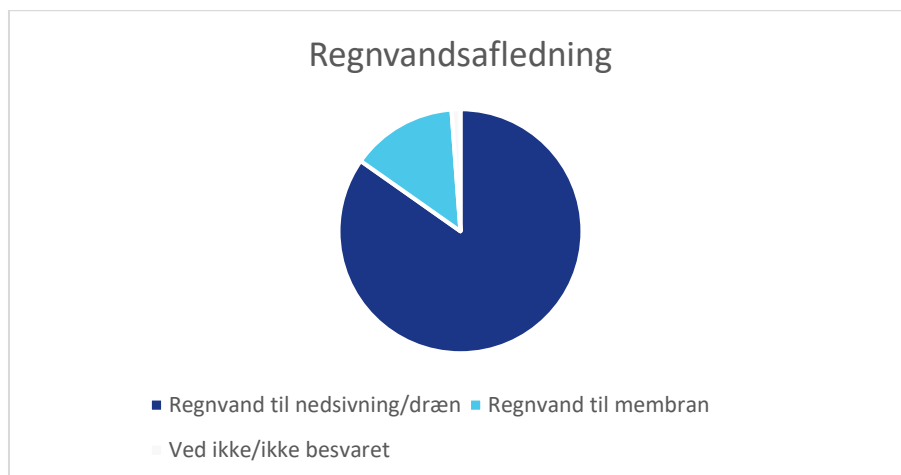
4.6 Afledning til kloaksystem

Når det gælder spredning af gummigranulat til regnvandssystemet, er den viden, der er fundet i litteraturen, meget usikker, da den er baseret på skøn og et meget lille antal målinger af sediment i brønde og grøfter, som ikke er foretaget systematisk, og som ikke dækker de samlede vandstrømme. En enkelt kilde måler i vandstrømmen, men det er usikkert, om denne kilde medtager hele udledningen af gummigranulat. Desuden er der usikkerhed vedr. opbygningen af de udenlandske baner i forhold til danske baner, ligesom der ikke er foretaget målinger på danske baner. Det er specielt forhold vedr. nedsivning og åbne/lukkede brønde, som kan have stor indflydelse på udledningen af gummigranulat til vandmiljøet.

Der er inddraget litteratur fra Danmark, Sverige og Holland i vurderingerne. Desuden er undersøgelsen fra Bilag 1, som oplyser om opbygningen af danske baner i forhold til afledning af vand, inddraget.

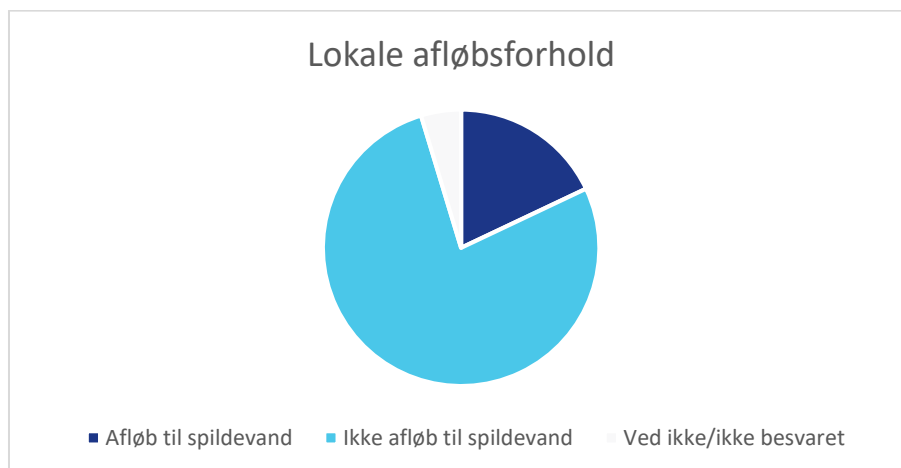
4.6.1 Afløbsforhold i Danmark

Undersøgelsen af opbygningen af de danske baner viser, at 85 % af regnvandet går til nedsivning/dræn (Figur 3). Hovedparten af det regnvand, som falder på banerne, vil ned-sive, hvorfor der kun forventes en meget minimal udledning af gummigranulat.



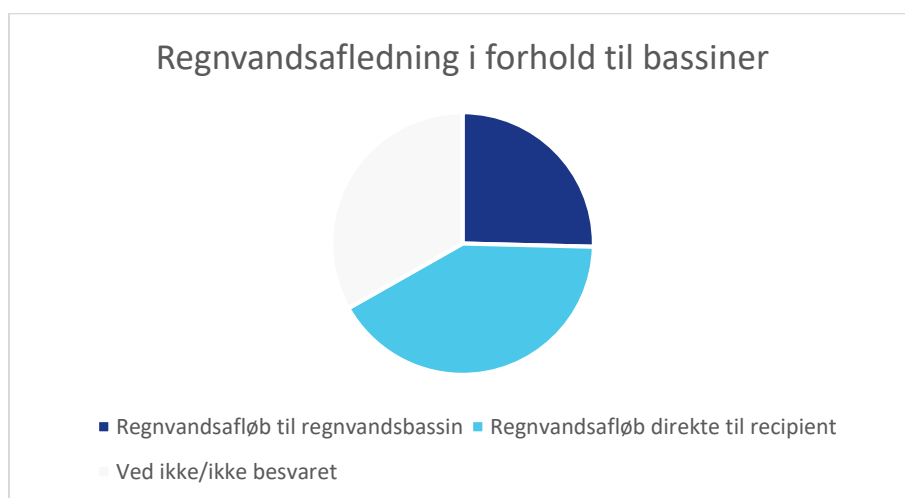
Figur 4 Afledning af regnvand.

18 % af de adspurgte angiver, at der er afløb til spildevand, og dermed afledes 82 % via regnvandet (Figur 4). I Danmark ledes ca. 50 % af regnvandet direkte ud, og 50 % af regnvandet ledes til fælleskloak. De opgivne oplysninger betyder, at der samlet set afledes 60 % af vandet til spildevandssystemet, og 40 % afledes til regnvandssystemet.



Figur 5 afledning til det lokale spildevandssystem.

Vedrørende afløb af regnvand angiver 25 % af de adspurgte, at vandet går til regnvandsbassin, og 41 % angiver, at det ledes direkte til recipient. Herudover har 33 % af de adspurgte ikke angivet et svar (Figur 5). I (Lassen, 2015) antages, at 30 % ledes til regnvandsbassiner, og denne antagelse vurderes at være repræsentativ, specielt set i forhold til at der kun er få besvarelser, hvad angår regnvandsafledningen.



Figur 6 Afledning via regnvandsbassin/direkte til recipient.

Undersøgelsen i Danmark viser desuden, at der kun ved ca. 4% af banerne, er observeret åbne brønde. På den baggrund må det sluttes, at der i langt de fleste tilfælde ikke umiddelbart kan komme gummigranulat ned i afløbssystemet, og det vand, der afledes fra kunstgræsbanerne, er primært vand, som har været igennem en nedsivning.

Der forventes en meget lav belastning med mikrogummi gennem filterlaget, men der kan forekomme huller, som eksempelvis er forårsaget af orme i jorden. De primære kilder til gummigranulat i vandmiljøet i Danmark vil derfor komme fra:

- overfladeafstrømning af gummigranulatet direkte ned i grøfter mv. under kraftig regn
- vindpåvirkning, hvor eksempelvis gummigranulat adsorberet til blade føres med vinden ned i grøfter mv.
- tab fra maskiner, som har bearbejdet kunstgræsbanerne, og som afsættes til eksempelvis regnvandsbrønde, som ikke er tilknyttet kunstgræsbanen.

4.6.2 Målinger af afledning af granulat til kloaksystem

Det mest omfattende arbejde, der er gennemført for at kortlægge mikroplasts strømme igennem afløbssystemet er COWIs rapport fra 2015 (Lassen, 2015) udarbejdet for Miljøstyrelsen. Rapporten bygger på teoretiske vurderinger, der delvist baseres på målinger og delvist på litteraturstudier. Konklusionerne fra denne rapport er også benyttet i COWIs rapport vedr. kunstgræsbaner fra 2018 (Kjølholt, 2018), hvori det vurderes, at den samlede udledning af mikroplast fra kunstgræs fodboldbaner (infillgranulat og afslidte fragmenter fra kunstige græs fibre) er på 450-790 t/år. Infillgranulatet antages at have et udslip til omgivelserne på 380-640 t/år. Beregningerne er foretaget ud fra 254 baner i Danmark.

I samme rapport, (Kjølholt, 2018) vurderes de primære spredningsveje for den samlede mikroplastbelastning fra kunstgræsbanerne at være:

- Omgivende jord (85-90 %): 360-751 t/år
- Spildevandsafløb (dækker over både regnvand og spildevand) (5-20 %): 23-158 t/år
 - Heraf til overfladevand: 1-9 t/år (baseret på, at 3-6 % af mikroplasten ledes ud i vandmiljøet).

I den hollandske undersøgelse (Hofstra, 2017) er målt mængder af infill fjernet med overfladevand. Der er målt 10 kg/år for Amsterdambanen og 6 kg/år for Hoogeveenbanen. Målingerne er foretaget ved at blande delprøver af slam/overfladejord fra grøfter, der ligger omkring banen, til en samleprøve, som analyseres for gummipartikler. Disse tal repræsenterer dermed den mikrogummi, som findes efter sedimentation i samlebrønden. Det vides ikke, om mindre partikler kan være undsluppet ved kraftig regn. Måling med en form for filter ville være mere præcis.

I (Wallberg, 2016) er det anslået (men ikke dokumenteret), at 750 kg ender i afløb og spildevand fra en fodboldklub med fire kunstgræsbaner (ca. 187 kg/bane). Mængden er alene baseret på den mængde, spillerne medtager vedhæftet sko og tøj. Der er ikke taget hensyn til, at der sker en kompaktering. Tabet vurderes at være stærkt overvurderet i forhold til de hollandske målinger på 6-10 kg/bane/år.

I et afgangprojekt fra Stockholms Universitet (Widström, 2017) er på fire kunstgræsbaner i Södertälje Kommune foretaget et omfattende feltarbejde med at måle på sediment i afløbsbrønde. Målingerne er kun foretaget på sedimentet i brøndene, og der foreligger ikke oplysninger om, over hvor lang tid dette sediment er opbygget, og ingen oplysninger om, hvor meget det har regnet, mens sedimentet er blevet opsamlet. Målingerne kan derfor kun bruges til at eftervise, at der afledes gummigranulat til kloaksystemet, og at en del af granulatet bliver samlet op i de anlagte brønde. Målingerne viser, at der kan opsamles 0,7–43 kg granulat pr. brønd. Brøndene modtager primært overfladevand fra kunstgræsbanerne. Målingerne kan ikke benyttes til at udtale sig præcist om afledningen af granulat pr. år, da der ikke er oplyst noget om tidsperioden for opsamling af granulatet i brøndene, men målingen kan dog indikere, at der kan opsamles op til 43 kg pr. brønd, som ved 4 brønde er i størrelsesordenen 200 kg. I disse målinger indgår ikke en vurdering af den afstrømning, som kommer fra banerne efter sedimentation i brøndene.

I masterprojekt fra det tekniske universitet KTH i Stockholm (Regnell, 2017) er der ved målinger med mikroskop også fundet store variationer og det er fundet, at maksimalt 340-370 kg/år kan nå afløbssystemet.

Luleå tekniska universitet i Sverige, Simon Magnussen (Magnussen, 2017) har gennemført et studie af afløbet fra kunstgræsbaner. Studiet har vurderet indholdet af ELT-gummigranulat i afløbsvandet (efter sedimentation i en brønd) ud fra zinkkoncentrationen og forudsat, at zink kun stammer fra ELT-gummi. Studiet finder, at maksimalt 0,7 kg gummigranulat bortledes pr. bane pr. år. Dette tal er meget lavere end de tal, der i øvrigt er fundet ved målinger af sediment i brønde. Tallet er et udtryk for den del af udledningen, som ikke sedimenterer i brønde og grøfter og dermed forventes at komme direkte ud i vandmiljøet. Men det er usikkert om eksempelvis partikler som skylles væk under kraftig regn er medtaget i analyserne og der kan derfor være tale om en underestimering af udledningen.

En norsk rapport (P. Sundt, 2016) har undersøgt mikroplast, og baseret på de danske vurderingsgrundlag anslås det i rapporten, at ca. 70 kg tabes til vandet pr. bane.

Samlet set er der meget stor variation i måleresultaterne for udledning af gummigranulat til kloaksystemet. Målingerne varierer fra 6 kg/bane/år til flere hundrede kg/bane/år. Der er stor usikkerhed om, hvordan tallene skal tolkes på grund af variation i lokale forhold, som fx forskelle i baneopbygning og afvandringsforhold, som har indflydelse på den målte udledning af gummigranulat. Hvis regnvandssystemerne er opbygget med lukkede brønde,

vil det ikke være muligt at tabe gummigranulat direkte i brøndene. Desuden vil opbygning med nedsivning minimere tabene til kloaksystemet, men der kan stadig findes mindre koncentrationer af gummi i drænvandet, samtidig med at der kan ledes gummigranulat til grøfter med afstrømmet vand eller med vinden. Endelig kan maskiner medtage gummigranulat fra banerne til befæstede områder. Det vurderes, at tabet til kloaksystemet andrager 10-200 kg/bane/år. Dette interval bygger på udenlandske målinger, men der bliver gjort meget i Danmark for at mindske spredningen til jord- og vandmiljø og derfor forventes at Danmark befinder sig i den lave ende af intervallet.

I næste afsnit er det vurderet, hvor meget af dette tab som kommer ud i vandmiljøet.

5 Massebalance baseret på det bedste skøn fra litteraturen

5.1 Vurdering af udledning af gummigranulat til vandmiljøet

COWI forudsætter følgende fordeling af afløbsstrømmene: 50 % af afløbsvandet fra kunstgræsbanen går via kombinerede kloakledninger til renseanlæggene, mens 50 % afledes via regnvandssystemet, da det forudsættes, at halvdelen af de danske kloaksystemer er separerede. Af regnvandsudledningen ledes ca. 30 % via regnvandsbassiner, hvor der sker en sedimentering inden udledning til recipienten.

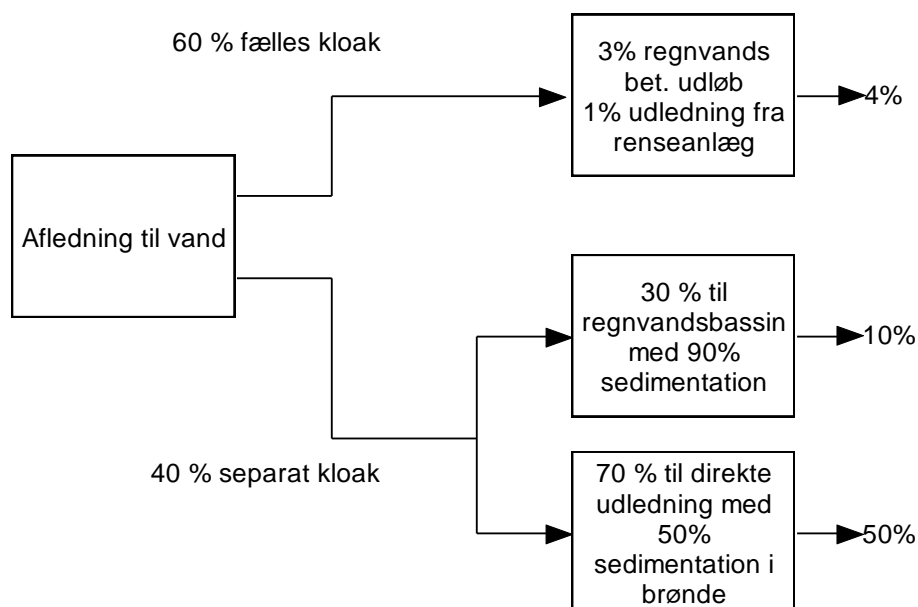
Den danske undersøgelse af kunstgræsbaner viser, at 18 % af alt vandet ledes direkte til spildevandskloak, men i Danmark går 50 % af regnvandet til fælles kloak og dermed til renseanlægget. Derfor vil der samlet set for kunstgræsbaner blive tilledt ca. 60 % til spildevandskloak (renseanlæg) og ca. 40 % til regnvandsafløb, se Figur 6.

De nyeste målinger af fjernelsen af mikroplast i renseanlæg tyder på, at renseanlæggene fjerner i størrelsesordenen ca. 99 % af mikroplasten, (Løkkegaard, 2017). Specielt når der er tale om partikler større end 300 µm, er fjernelsen i renseanlæggene yderst effektiv. Der sker dog også en utilsigtet udledning fra spildevandssystemerne under kraftig regn. Denne udledning vurderes at udgøre 3 % af den samlede spildevandsmængde.

De foretagne målinger af afledning til regnvandssystemerne tyder alle på, at der sker en sedimentering af granulatet i brønde og grøfter. I Danmark ledes cirka en tredjedel af regnvandsudledningen også igennem våde regnvandsbassiner, som er dimensioneret til at fjerne partikler større end 10-100 µm (Teknisk vejledning, EU LIFE-TREASURE, 2009), hvilket betyder, at der i regnvandsbassinerne sker en sedimentation af gummigranulatet, hvorfor udledningen af gummigranulat gennem regnvandsbassiner må vurderes til at være minimal. Det skønnes, at 10 % af gummigranulatet ender i recipienterne, og 90 % tilbageholdes i regnvandsbassinerne.

Tilbage er at vurdere den direkte udledning. Der er stor usikkerhed om, hvor stor en del der sedimenterer i brønde, og hvor stor en del der ledes ud med regnvandet. Denne fordeling vil i høj grad afhænge af regnintensitet og af kommunernes tømningrutiner for regnvandsbrønde. Kun konkrete målinger vil kunne fastlægge de faktiske bevægelser af gummigranulatet i regnvandssystemerne. Det skønnes, at 50 % af gummigranulatet sedimenterer i brønde og ikke kommer ud i vandmiljøet.

I Figur 7 er vist en oversigt over den procentvise fordeling af vandstrømmene fra en dansk kunstgræsbane.



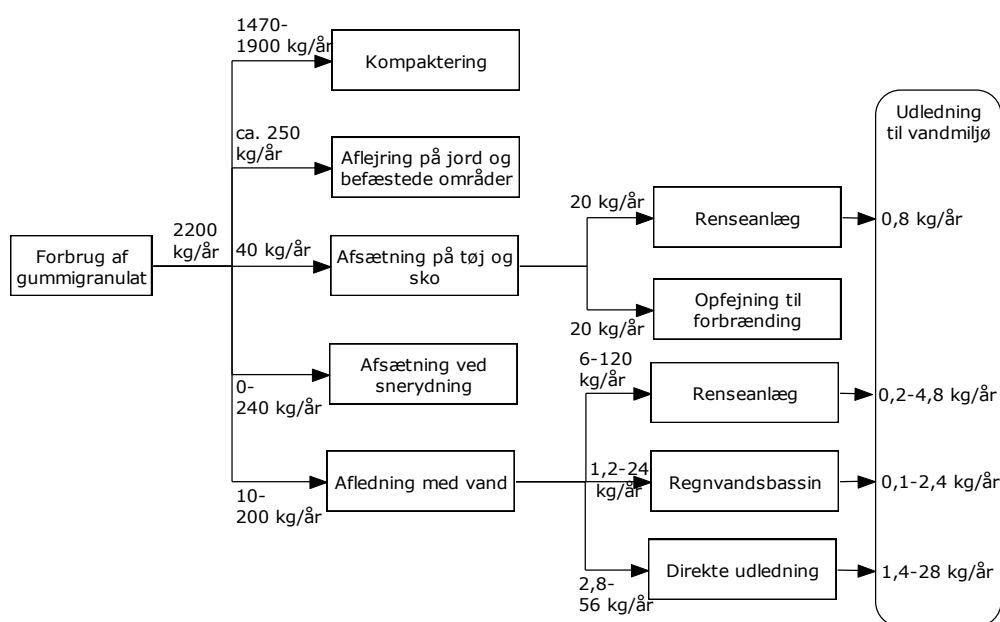
Figur 7 Fordeling af vandstrømme igennem kloaksystemet og vurderede fjernelsesgrader af gummigranulat i de tekniske anlæg.

Baseret på forudsætningerne angivet i Figur 6 bliver udledningen på 10-200 kg/år pr. bane til en samlet udledning til vandmiljøet, som svarer til 2,5-36 kg/år pr. bane. Dette svarer til en udledning på 0,8-12 t/år for de 340 baner i Danmark i 2017, hvilket er i samme størrelsesorden som de tal, der er vurderet i Danmark, hvor der er skønnet en udledning til vandmiljøet på 1-9 t/år baseret på 254 baner (Kjølholt, 2018).

5.2 Den samlede massebalance for gummigranulatet

Den samlede massebalance for gummigranulatet er illustreret i Figur 7.

Massebalancerne skal dog tages med forbehold, da der endnu ikke er foretaget målinger af udledningen af gummigranulatet i Danmark, og kun ved at foretage målinger kan det bestemmes, hvilke koncentrationsniveauer der er tale om.



Figur 8 Fordeling af massebalancen for alle danske kunstgræsbaner for gummigranulat ved inddragelse af den nyeste litteratur. Tallene er baseret på de bedste skøn baseret på målinger, men der er store usikkerheder i tallene. For at opnå sikre tal skal der gennemføres yderligere målinger.

I massebalancen på Figur 7 er gummigranulat, som ophobes ved kompaktering, beregnet som tilført infill minus tab, og tabene er summen af:

- aflejring på jord og befæstede arealer
- afsætning på sko og tøj
- afsætning ved snerydning
- afledning med vand.

Baseret på tallene i rapporten kan det konkluderes, at der maksimalt er estimeret en kompaktering svarende til $2.200 - (250+40+0+10) = 1.900$ kg. Denne kompaktering er beregnet på baggrund af de laveste tal i intervallerne fra massebalancen.

Baseret på massebalancen svarer den minimale kompaktering til $2.200 - (250+40+240+200) = 1.470$ kg.

Aflejring på jord og befæstede arealer er baseret på hollandske undersøgelser (Hofstra, 2017).

Afsætning på tøj og sko er baseret på norske undersøgelser (Forskningskampanjen, 2017).

Maksimalt mængder afsætning ved snerydning er baseret på svenske undersøgelser, som angiver, at 11 % af tabet af infill kan stamme fra snerydning, men der er også baner, hvor der ikke er vinterdrift og derfor ikke tabes infill ved snerydning (Wallberg, 2016).

De laveste værdier i intervallet for afledning af vandmængder er baseret på tal fra hollandske undersøgelser (Hofstra, 2017), mens de maksimale mængder er baseret på fundne mængder i brønde (Widström, 2017).

Forkortelser

ELT: End of Life Tyres

SBR: Styren Butadien Gummi

EPDM: Etylen Propylen Dien Monomer gummi

TPE: Termoplastiske Elastomerer

PAD: Opskummet plastunderlag

E-layer: Elastisk vandpermeabelt underlag bestående af gummigranulat bundet sammen med polyurethan

Citerede værker

B. Bauer et al. (2018). *Environmentally friendly substitute products for rubber granulates as infill for artificial turf fields M-995/2018*. Norges Miljøstyrelse.

Domo Sports Grass. (u.d.). *Domo Sports Grass, Pflegehinweise für Kunstrasen Fussball - Sand und Gummi Bzw. Sand und Naturfill Verfüllte Kunstrasen*.

EU Life-Treasure. (2009). *Funktion, dimensionering og drift af våde bassiner for videregående rensning af afstrømmet regnvand i byer - TEKNISK VEJLEDNING*.

F355, A. n. (2016). *Test Method for Impact Attenuation of Playing Surface Systems and Materials*. American Society for Testing and Materials.

Flemming, P. R., Forrester, S. E., & McLaren, N. J. (2015). Understanding the effects of decompaction maintenance on the infill state and play performance of third-generation artificial grass pitches. *Journal of Sports Engineering and Technology*, s. vol 229(3), 169-182.

Forskningskampanjen. (2017). *Sjekk kunstgressbanen*. Forskningskampanjen 2017.

Gustafsson, N. (2017). *Gummigranulat på kostgräsplaner*. Lunds Universitet.

Hofstra, U. (2017). *Verspreiding van infill en indicatieve massabalans*. Sweco.

Kjær, K. (2013). *Miljø- og sundhedskadelige stoffer i drænvand fra kunstgræsbaner*. Lynettefællesskabet I/S.

Kjølholt, J. (2018). *Miljøprojekt nr. 2000 Kunstgræsbaner Kortlægningsrapport*. Miljøstyrelsen.

Lassen, C. (2015). *Microplastics, Environmental Project no. 1793*. Miljøstyrelsen.

Lindberg. (2018). *Lindberg International. Kunstgræsbaner i Danmark- vedligehold og brug af re-fill materiale*.

M. Løkkegaard et al. (2017). *Partnerskab om mikroplast i spildevand 2017*. Miljøstyrelsen.

- Magnussen, S. (2017). *Bedömning av omgivningspåverkan från olika fyllmaterial i konstgräsplaner - Fallstudie av dräneringsvatten*. Luleå Tekniska Universitet, Sverige.
- Magnusson, K. (2017). *Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment*. IVL.
- P. Sundt, M. (2016). *Primary microplastic-pollution*. Norwegian Environment Agency.
- Regnell, F. (2017). *Mikroplaster från konstgräsplaner: orsaker til spridning samt en kvalitativ analys av spridningen til dränerings- og dagvattenbrunnar*. Master thesis KTH.
- Smart Connection. (2017). *The Smart Guide to Synthetic Sports Fields Rubber Infill*. Smart Connection Consultancy.
- stma.org. (2018). *Field hardness testing*. Sportsturf Managers Association www.stma.org.
- Wallberg, P. (2016). *Däckmaterial i konstgräsplaner*. SWECO Environment AB.
- Widström, K. (2017). *Migration av gummigranulat från konstgräsplaner*. Stockholms universitet.

Bilag 1 Spørgeskemaundersøgelse af forhold vedrørende opbygning af danske baner

Genan har indsamlet data fra 256 baner i spørgeskemaer, som er udfyldt af følgende leverandører og rådgivere:

Kilde til data	Antal baner	Type
WSG baner	50	Leverandør
Orbicon	63	Rådgiver
Jess Wessberg	35	Rådgiver
NKI	34	Leverandør
Sportsbyg	12	Leverandør
Dines Jørgensen & Co	62	Rådgiver

De modtagne data er bearbejdet af Teknologisk Institut. Tabel 1 viser data for anvendt infill og kunstgræssystem.

Tabel 3 Opbygning af baner.

	Antal	%
ELT	229	89,5
TPE	13	5,1
EPDM	5	2,0
Ved ikke/ikke besvaret	9	3,5
System uden PAD	153	59,8
System med PAD	42	16,4
System med E-layer	58	22,7
Ved ikke/ikke besvaret	3	1,2

I Tabel 4 er vist gennemsnitsstørrelsen af banerne samt anvendt infill og sandmængde pr. bane. Gennemsnitsarealet er bestemt til 8.865 m², hvilket kun afviger 1,5 % fra arealet 8.742 m² bestemt for 89 baner i (Lindberg, 2018)

Tabel 4 Banestørrelser og tilført infill/sand.

	Middel	Std. afv.
Banestørrelse (m ²)	8.865	3.385
Infillmængde (kg/m ²)	11,6	4,5
Sandmængde (kg/m ²)	16,0	2,9

I Tabel 5 er vist forhold vedrørende opbygning af banen, som kan begrænse spredning af infill til de omkringliggende arealer.

Tabel 5 Begrænsende foranstalter vedr. spredning af infill til omkringliggende arealer.

	Antal	%
Indhegnet	211	82,4
Delvis indhegnet	21	8,2
Ikke indhegnet	14	5,5
Ved ikke/ikke besvaret	10	3,9
Infillbarrierer	50	19,5
Sluse ved udgang	46	18,0

I Tabel 6 er angivet forhold vedrørende vandafledning.

Tabel 6 Forhold vedrørende vandafledning.

	Antal	%
Åbne brønde	11	4,3
Regnvandsafløb	69	27,0
Regnvand til nedsivning/dræn	217	84,8
Regnvand til membran	36	14,1
Ved ikke/ikke besvaret	3	1,2
Afløb til spildevand	46	18,0
Ikke afløb til spildevand	198	77,3
Ved ikke/ikke besvaret	12	4,7
Regnvandsafløb til regnvandsbassin	65	25,4
Regnvandsafløb direkte til recipient	106	41,4
Ved ikke/ikke besvaret	85	33,2