



UPPSALA
UNIVERSITET

UPTEC W 20021

Examensarbete 30 hp
Juli 2020

Mikroplastförluster från konstgräsplaner via snöröjning

En kvantitativ studie samt kostnad-nyttoanalys
av hanteringsmetoder för granulat

Hanna Sund

Referat

Mikroplastförluster från konstgräsplaner via snöröjning - *En kvantitativ studie samt kostnad-nyttoanalys av hanteringsmetoder för granulat*

Hanna Sund

Den ökade användningen av plast i samhället har lett till att plast återfinns i naturen. Mikroplaster är plastfragment av storleken 1 μm till 5 mm. Mikroplaster förekommer i haven och kommer från både land- och havsbaserade källor. Nedbrytning av plast i naturen kan ta århundraden till årtusenden och plaster innehåller ofta tillsatskemikalier, vilka kan ha toxiska effekter hos organismer vid intag.

Svenska Miljöinstitutet (IVL) gjorde en kartläggning av källor till och spridning av mikroplaster i Sverige. I denna kartläggning bedömdes konstgräsplaner vara näst största källan till mikroplastspridning i Sverige. Slitage av vägar och däck bedömdes vara största källan. Tredje generationens konstgräsplan fylls med ifyllnadsmaterial som exempelvis kan vara granulat. Granulat är plast eller gummi och är mindre än 5 mm, vilket gör att det klassas som mikroplast.

Mikroplaster sprids från konstgräsplaner av olika anledningar, men hur mycket som avlägsnas via snöröjning är i dagsläget, år 2020, oklart. Syftet med denna studie var att undersöka mikroplastförluster från en konstgräsplan via snöröjning. Med förluster avses i detta projekt granulat som överförs från konstgräsplanen till planens uppsamlingsplats för undanröjd snö. Spridning från idrottsplatsen, med konstgräsplanen och uppsamlingsplatsen, till omgivningen undersöktes inte. Konstgräsplanen Brantbrinks IP som ligger i Botkyrka kommun undersöktes. Brantbrink är en tredje generationens konstgräsplan och är fylld med R-EPDM-granulat, vilket är en typ av gummigranulat. För att kvantifiera mängden mikroplaster som avlägsnas från konstgräsplanen via snöröjning utfördes tre olika mätmetoder, varav en var den huvudsakliga mätningen, den så kallade totalmätningen, och de andra två användes för att verifiera totalmätningen.

Dessutom undersöktes möjliga hanteringsmetoder för granulatet som ligger kvar efter att högar med undanröjd snö smält. Fyra olika hanteringsmetoder togs fram och en kostnad-nyttoanalys gjordes för var och en av dem, där kostnaden för respektive alternativ ställdes mot vilken livslängd konstgräsplanen tros få av de olika alternativen.

När Brantbrink snöröjdes lades den undanröjda snön i högar på en uppsamlingsplats i anslutning till planen. När dessa snöhögar smält låg granulatet som följt med den undanröjda snön kvar. Metoden för totalmätningen var att fylla hinkar med detta granulat och väga det för att erhålla totala massan granulat som spridits från Brantbrinks IP via snöröjning denna säsong.

Mätningen visade att det denna säsong transporterades ca 257 kg granulat från Brantbrinks IP till uppsamlingsplatsen via snöröjning. Den mest kostnadseffektiva hanteringsmetoden för granulat som avlägsnats via snöröjning är, utifrån kostnad-nyttoanalysen som

gjordes, att kommunens driftspersonal återför granulatet till konstgräsplanen för vidare användning.

Slutsatser som kan dras utifrån projektet är att totalmätningen var den mest tillförlitliga mätmetoden, medan övriga mätmetoder inte var exakta nog. En betydande mängd granulat transporteras bort via snöröjning och höjden på granulatet i en tredje generationens konstgräsplan minskar troligen i stor utsträckning till följd av att granulatet kompakteras. Att återföra granulat utan rengöring, vilket var den mest kostnadseffektiva metoden, är inte alltid möjligt då granulatet kan vara för smutsigt och därför behöver tvättas innan återföring. För framtida studier kan mätmetoderna för att bestämma mängden granulat som avlägsnas från konstgräsplaner utvecklas. Även miljöaspekten kan i framtida studier vägas in i kostnad-nyttoanalysen vilket kan påverka beslutfattande om hanteringsmetoder för spritt granulat. Dessutom kan mängden mikroplaster som sprids till omgivningen till följd av snöröjning undersökas.

Nyckelord: mikroplaster, konstgräs, granulat, snöröjning

Abstract

Loss of microplastics from artificial greens via snow clearance - A quantitative study and a cost-benefit analysis of management methods for granules

Hanna Sund

The increased use of plastics in society has led to plastic being found in nature. Microplastics are plastic fragments of the size of 1 μm to 5 mm. Microplastics occur in the seas and originate from both land- and sea-based sources. Decomposition of plastics in nature can take centuries to millennia and plastics often contain additives, which can have toxic effects on organisms at ingestion.

The Swedish Environmental Institute (IVL) conducted a survey of the sources and distribution of microplastics in Sweden. In this survey, artificial greens were considered to be the second largest source of microplastics spread in Sweden. Wear of roads and tires was considered to be the biggest source. The third generation artificial green is filled with filling material which for example can be granules. Granules are made of plastic or rubber and are less than 5 mm in size, which makes it classified as microplastics.

Microplastics are spread from artificial greens for different reasons, but the amount due to snow clearance is today, year 2020, unclear. The purpose of this study was to investigate the transport of microplastics from an artificial green via snow clearance. Transport in this project means granules that are transported from the artificial green to the collection site for cleared snow. Spreading from the sports ground, with the artificial green and its collection site, to the surroundings was not investigated. Brantbrinks IP, located in the municipality of Botkyrka, was investigated. Brantbrink is a third generation artificial green and is filled with R-EPDM granules, which is a type of rubber granulate. To quantify the amount of microplastics that were removed from the artificial green due to snow clearance, three different measurement methods were used, one of which was the main measurement and the other two were used to verify the main measurement.

In addition, possible management methods for the granules that remained after the piles of cleared snow melted were investigated. Four different management methods were investigated and a cost-benefit analysis was done for each of them, where the cost of each alternative was set against the lifetime of the artificial green that is believed to be due to the different alternatives.

When Brantbrink was snow cleared, the cleared snow was put into piles on a collection site, adjacent to the green. When these snow piles melted, the granulate that followed with the cleared snow remained. The method for the main measurement was to fill buckets with this granulate and weigh it to obtain the total mass of granules that have been spread from Brantbrinks IP via snow clearance this season.

This project showed that about 257 kg of granulate was transported from Brantbrinks IP to the collection site via snow clearance. The most cost effective method of handling

granules removed by snow clearance is that the maintenance staff returns the granules to the artificial green for further use.

Conclusions that can be drawn from the project are that the total measurement was the most reliable measurement method, while the other measurement methods were not accurate enough to measure how much granules are removed from an artificial green through snow clearance. A significant amount of granules are spread via snow clearance and the height of the granules in a third generation artificial green is mainly reduced as a result of compacting of the granules. Returning granules without cleaning, which was the most cost-effective method, is not always possible as the granules may be too dirty and therefore need to be washed before returning. For future studies, the measurement methods to determine the amount of granules removed from artificial greens can be developed. Also, the environmental aspect can be considered in the cost-benefit analysis, which can influence decision-making on the handling methods for dispersed granules. In addition, the amount of microplastics spread to the environment as a result of snow clearance can be investigated.

Keywords: microplastics, artificial turf, granulate, snow clearance

Förord

Detta examensarbete omfattar 30 hp och är avslutet på civilingenjörsutbildningen inom miljö- och vattenteknik på Uppsala universitet. Arbetet har utförts på Ecoloop AB i Stockholm i samarbete med Botkyrka kommun. Handledare på Ecoloop AB har varit Fredrick Regnell. Ämnesgranskare har varit Monica Mårtensson och examinerator Fritjof Fagerlund vid Institutionen för geovetenskaper på Uppsala universitet.

Att utföra detta examensarbete har varit mycket lärorikt och utvecklande. Flera personer har varit inblandade i arbetet och till dem vill jag rikta ett särskilt tack. Jag vill tacka Fredrick Regnell för stöd, vägledning och stort engagemang genom hela arbetet. Jag vill tacka Monica Mårtensson som varit engagerad, hjälpsam och gett värdefull feedback.

Jag vill även tacka Ingela Jansson på Botkyrka kommun för svar på alla frågor jag ställt samt framtagning av värdefull information som jag behövt. Jag vill rikta ett tack till Andreas Nixon på Botkyrka kommun för hjälp vid provtagningar, inköp av material samt svar på frågor som jag haft. Jag vill även tacka övrig personal på Brantbrinks IP för hjälp vid provtagningarna. Jag vill tacka Christian Cerna på Unisport för hjälp med mätningar samt för expertkunskapen jag har fått ta del av.

I övrigt vill jag tacka de anställda på Ecoloop för att jag känt mig välkommen sedan första stunden samt de andra examensarbetarna på Ecoloop som förgyllt denna termin.

Slutligen vill jag tacka för åren på W-programmet. Dessa år har varit oerhört lärorika. Jag vill tacka alla som bidragit till att studietiden i Uppsala varit bland den roligaste tiden i mitt liv.

Hanna Sund

Stockholm, maj 2020

Copyright ©Hanna Sund och Institutionen för geovetenskaper vid Uppsala universitet. UPTEC W 20 021, ISSN 1401-5765. Digitalt publicerad i DiVA, 2020, genom institutionen för geovetenskaper, Uppsala universitet, Uppsala 2020.

Populärvetenskaplig sammanfattning

Mikroplastförluster från konstgräsplaner via snöröjning - *En kvantitativ studie samt kostnad-nyttoanalys av hanteringsmetoder för granulat*

Hanna Sund

Den ökade användningen av plast i samhället har gjort att plast hamnat i naturen. Mikroplaster är plastbitar mindre än 5 mm. Mikroplaster har hittats i haven och kommer från olika källor. Det kan ta århundraden till årtusenden för plast att brytas ner i naturen. Plast innehåller ofta kemikalier som kan vara skadliga för djur.

Svenska Miljöinstitutet (IVL) undersökte källor till spridning av mikroplast i Sverige. I denna undersökning bedömdes konstgräsplaner vara näst största källan till mikroplast-spridning i Sverige. Den största källan bedömdes vara mikroplaster som uppstår när vägar och däck slits. En typ av konstgräsplan som heter tredje generationens konstgräsplan fylls ofta med granulat, vilket är gjort av plast eller gummi. Granulat är mindre än 5 mm och klassas därför som mikroplast.

Granulatet i konstgräsplaner försvinner från konstgräsplaner av olika anledningar, men hur mycket som följer med snön när konstgräsplaner snöröjs är i dagsläget, år 2020, oklart. Syftet med denna studie var att undersöka mikroplastförluster från en konstgräsplan via snöröjning. Med transport menas i detta projekt granulat som transporteras från konstgräsplanen till planens uppsamlingsplats för undanröjd snö, och inte vidare från idrottsplatsen. Spridning från idrottsplatsen, med konstgräsplanen och uppsamlingsplatsen, till omgivningen undersöktes inte. Konstgräsplanen Brantbrinks IP som ligger i Botkyrka kommun undersöktes. Brantbrink är en tredje generationens konstgräsplan och är fylld med en typ av gummigranulat. För att bestämma mängden mikroplaster som avlägsnas från konstgräsplanen via snöröjning användes tre olika mätmetoder, varav en var den huvudsakliga mätningen, den så kallade totalmätningen, och de andra två användes för att jämföra resultatet med den huvudsakliga metoden.

Dessutom undersöktes möjliga hanteringssätt för granulatet som ligger kvar efter att högarna med undanröjd snö smält. Fyra olika hanteringssätt undersöktes. Den första metoden innebär att granulatet som ligger kvar efter att snöhögarna har smält läggs tillbaka till konstgräsplanen. Den andra metoden innebär att granulatet först rengörs innan det läggs tillbaka till planen. Det tredje alternativet är att granulatet avfallshanteras och att nyttillverkat granulat läggs ut på planen. Det fjärde alternativet är att granulatet avfallshanteras utan att något nytt granulat läggs ut på planen. En kostnad-nyttoanalys gjordes för varje hanteringssätt. I en kostnad-nyttoanalys vägs kostnaden med ett alternativ mot alternativets nytta. I denna studie vägdes kostnaden för respektive alternativ mot vilken livslängd konstgräsplanen tros få av de olika alternativen.

När Brantbrink snöröjdes lades den undanröjda snön i högar på en uppsamlingsplats för snö nära konstgräsplanen. När dessa snöhögar smält låg granulatet som följt med den undanröjda snön kvar. Metoden för den huvudsakliga mätningen var att väga granulatet

för att få reda på totala massan granulat som spridits från Brantbrinks IP via snöröjning denna säsong.

Denna mätning visade att det denna säsong transporterades ca 257 kg granulat från Brantbrinks IP till uppsamlingsplatsen via snöröjning. Det mest kostnadseffektiva hanterings sättet, utifrån kostnad-nyttoanalysen som gjordes, för granulat som avlägsnats via snöröjning är att lägga tillbaka granulatet på konstgräsplanen.

Slutsatser som kan dras utifrån projektet är att totalmätningen var den mest tillförlitliga mätmetoden, medan övriga mätmetoder inte var exakta nog för att uppmäta hur mycket granulat som avlägsnas från en konstgräsplan via snöröjning. En betydande mängd granulat sprids via snöröjning och höjden på granulatet i en tredje generationens konstgräsplan minskar huvudsakligen till följd av att granulatet kompakteras. Att återföra granulat utan rengöring, vilket var den mest kostnadseffektiva metoden, är inte alltid möjligt då granulatet kan vara för smutsigt och därför behöver tvättas innan återföring. För framtida studier kan mätmetoderna för att bestämma mängden granulat som avlägsnas från konstgräsplaner utvecklas. Även miljöaspekten kan i framtida studier vägas in i kostnad-nyttoanalysen vilket kan påverka beslutfattande om hanteringsmetoder för spritt granulat. Dessutom kan mängden mikroplaster som sprids till omgivningen till följd av snöröjning undersökas.

Ordlista

Dagvatten	regnvatten och smältvatten som rinner på hårdgjorda ytor
EPDM	Etylen-Propylen-Dien-gummi
Granulat	fyllnadsmaterial i konstgräsplaner
Granulatfälla	en ”fälla” med filterpåse som placeras i dagvattenbrunnar för att samla upp granulat
KNA	kostnad-nyttoanalys (<i>eng. cost-benefit analysis</i>)
Mikroplaster	en plastpartikel som är mellan 1 μm och 5 mm
Petroleum	samlingsnamn för råolja och naturgas som ofta raffinerar för att bilda olika produkter
Polymerer	kedjeformiga molekyler som är uppbyggda av många mindre molekyler
R-EPDM	Recycled Etylen-Propylen-Dien-gummi
SBR	Styrenbutandiengummi
Spillvatten	vatten från exempelvis hushåll och industrier som leds till reningsverk
Tillsatskemikalier	kemikalier som tillsätts till plast för att ge den vissa egenskaper
TPE	Termoplastisk elastomer
Tredje generationens konstgräsplan	En typ av konstgräsplan som fylls med ifyllnadsmaterial
Vattenrecipient	vattendrag/sjö/hav som mottar dagvatten eller spillvatten

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Bakgrund	1
1.2	Syfte och mål	2
1.3	Avgränsningar	2
2	Teori	3
2.1	Mikroplast	3
2.1.1	Nedbrytning	3
2.1.2	Effekter hos vattenlevande organismer	3
2.1.3	Effekter på människors hälsa	4
2.1.4	Spridning	4
2.2	Konstgräsplaner	5
2.2.1	Uppbyggnad	5
2.2.2	Granulat	6
2.2.3	Kompaktering	7
2.2.4	Drift och underhåll	8
2.2.5	Spridning av mikroplaster från konstgräsplaner	8
2.3	Hantering av granulat som spridits via snöröjning	10
2.3.1	Svenska Fotbollsförbundets rekommendation	10
2.3.2	Alternativa hanteringssätt	11
2.4	Tidigare studier	11
2.5	Platsbeskrivning av konstgräsplanerna i Botkyrka	13
2.5.1	Brantbrinks IP	14
2.5.2	Brunna IP	15
2.5.3	Systemgränser Brantbrinks IP	17
2.6	Kostnad-nyttoanalys	17
3	Metod	19
3.1	Mätningar	19
3.1.1	Totalmätning	19
3.1.2	Stickprovsmätning	21
3.1.3	Kompakteringsmätning	27
3.2	Beräkningar	29
3.2.1	Totalmätning	29
3.2.2	Stickprovsmätning	30
3.2.3	Kompakteringsmätning	33
3.3	Kostnad-nyttoanalys	34
3.3.1	Alternativen	34
3.3.2	Kostnad	34
3.3.3	Nytta	35
3.3.4	Analys	36

4	Resultat	37
4.1	Mätning	37
4.1.1	Totalmätning	37
4.1.2	Stickprovsmätning	37
4.1.3	Kompakteringsmätning	40
4.1.4	Sammanställning spridd granulat	41
4.2	Kostnad-nyttoanalys	41
4.2.1	Kostnad	41
4.2.2	Livslängd	43
4.2.3	Analys	43
5	Diskussion	45
5.1	Resultat	45
5.1.1	Totalmätning	45
5.1.2	Stickprovsmätning	45
5.1.3	Kompakteringsmätning	46
5.1.4	Jämförelse mellan totalmätningen och övriga mätningar	46
5.1.5	Kostnad-nyttoanalys	47
5.2	Potentiella felkällor och osäkerheter	47
5.2.1	Totalmätning	48
5.2.2	Stickprovsmätning	48
5.2.3	Kompakteringsmätning	49
5.2.4	Kostnad-nyttoanalys	49
5.3	Framtida studier	49
5.3.1	Utveckling av totalmätning	49
5.3.2	Utveckling av stickprovsmetod	50
5.3.3	Livscykelanalys granulat	50
5.3.4	Mikroplastspridning till omgivningen	50
5.3.5	Miljöperspektiv hanteringsmetoder av granulat som överförts till uppsamlingsplatsen	51
6	Slutsats	54
A	Bilaga: Totalmätning	57
B	Bilaga: Stickprovsmätning	60
C	Bilaga: Kompakteringsmätning	65
D	Bilaga: Beräkning kostnader KNA	68
E	Bilaga: Dokumentation snöröjningstillfällen	72
F	Bilaga: Meteorologisk data	73

1 Inledning

1.1 Bakgrund

Mikroplaster är per definition syntetiska polymerer som härrör från petroleum eller bi-produkter från petroleum. Icke-syntetiska polymerer, som exempelvis naturligt gummi, kan också klassas som mikroplaster (Anderson *et al.* 2015). För att plast ska räknas som mikroplast ska dess storlek vara mellan 1 μm och 5 mm (ibid.; Kärrman, Schönlaue & Engwall 2016; Sundt, Schulze & Syversen 2014).

Mikroplaster kan lätt intas av flera olika vattenlevande organismer (Kärrman, Schönlaue & Engwall 2016) och har hittats i alla nivåer av den marina näringskedjan (Lassen *et al.* 2015). När mikroplaster tas upp av en organism kan tillsatskemikalier i plasten läcka ut i organismerna, vilket kan medföra en rad biologiska effekter (Kärrman, Schönlaue & Engwall 2016). Dessutom har mikroplaster hittats i föda relevant för människor (ibid.). Mikroplasters effekt på mänsklig hälsa har fortfarande inte undersökts i någon vidare utsträckning, men tillsatskemikalier kan vara giftiga för både djur och människor (Barboza *et al.* 2018).

En kartläggning av källor till och spridning av mikroplaster i Sverige har gjorts av Svenska Miljöinstitutet (IVL) år 2016 på uppdrag av Naturvårdsverket och Regeringen. Denna kartläggning uppskattade att den näst största landbaserade källan till mikroplastspridning är konstgräsplaner, med en möjlig spridning till havsmiljö. Mängden granulat uppskattades till 1640-2460 ton per år (K. Magnusson *et al.* 2017).

Det finns över 1000 konstgräsplaner i Sverige och det byggs ca 100 stycken nya per år (Naturvårdsverket 2020a). Det finns fyra olika typer av konstgräsplaner. En av dessa typer, den så kallade tredje generationens konstgräsplan, fylls med ifyllnadsmaterial. Ett exempel på ett sådant är granulat (Pers kom Cerna 2020a). Granulat är plast eller gummi och är till storleken mindre än 5 mm, vilket gör att det klassas som mikroplaster. Granulatet sprids från konstgräsplaner antingen via snöröjning, spelares kläder och skor eller via dränering och avrinning (Naturvårdsverket 2020a). Det är enbart mikroplaster som sprids från idrottsplatsen till omgivningen som bedöms ha potentiella ekologiska konsekvenser (Regnell 2017). I ett projekt utfört av Regnell (2019) mättes och kartlades källor till spridning av mikroplaster från konstgräsplaner. I denna studie inkluderades inte att undersöka mikroplastspridningen från konstgräsplaner via snöröjning, till följd av en mild vinter (Regnell 2019).

När en konstgräsplan snöröjs läggs snön oftast i en hög vid sidan av planen. Snöhögen smälter så småningom, varpå granulatet som har följt med snön vid snöröjningen ligger kvar på platsen, utanför planen (Naturvårdsverket 2020a). Om mikroplaster hamnar i brunnar kan de utgöra en miljöfara. Dessutom kan det granulat som hamnat utanför planen ses som en resursförlust. Antingen återförs granulatet till konstgräsplanen för att återanvändas. Granulatet kan vara smutsigt och därför behöva tvättas innan återföring. Ett annat alternativ är att avfallshanterat granulatet och tillföra nytt granulat till planen

(Pers kom Cerna 2020a).

1.2 Syfte och mål

Syftet med detta projekt är att kvantifiera mängden mikroplaster som transporteras från Brantbrinks IP i Botkyrka kommun till uppsamlingsplatsen för undanröjd snö via snöröjning under en vinter. Målsättningen är att sammanställa en specifik rekommendation till Botkyrka kommun för hantering av mikroplast som överförs till uppsamlingsplatsen för snö från konstgräsplanen.

Följande frågeställningar ska besvaras:

- Hur mycket mikroplaster avlägsnas från Brantbrinks IP via snöröjning vintern 2020?
- Vilken är den mest kostnadseffektiva metoden för att hantera de avlägsnade mikroplasterna från konstgräsplaner via snöröjning ur ett hållbarhetsperspektiv?

1.3 Avgränsningar

Projektet är ett examensarbete på Uppsala universitet och är begränsat till 20 veckor. Därför genomfördes alla mätningar under vintern/våren 2020.

Projektet är avgränsat till att kvantifiera mängden mikroplast som överförs till uppsamlingsplatsen för snö från en specifik konstgräsplan via snöröjning, närmare bestämt Brantbrinks IP i Botkyrka kommun. Det bäst lämpade hanteringssättet av avlägsnad mikroplast via snöröjning ur ett hållbarhetsperspektiv utreddes, baserat på kvantifieringen av avlägsnade mikroplaster från Brantbrinks IP. Den specifika rekommendationen som togs fram gäller enbart för konstgräsplanen som utreddes. Rekommendationen kan inte appliceras direkt på godtycklig konstgräsplan, då förhållandena för olika konstgräsplaner kan variera.

I detta projekt avser ”mikroplaster” det granulat som är ifyllnadsmaterial i konstgräsplanen. Därmed utreds inte mikroplaster i mindre storleksordning än granulatet, som exempelvis mindre mikroplaster som fragmenterats från granulat eller mikroplaster som härrör från konstgrässtråna.

I detta projekt undersöktes transporten av mikroplaster från konstgräsplanen till dess uppsamlingsplats för undanröjd snö via snöröjning. Projektet inkluderar inte att kvantifiera mängden mikroplaster som sprids från idrottsplatsen, med konstgräsplanen och dess uppsamlingsplats, till omgivningen till följd av snöröjning. I projektet inkluderas inte en bedömning av miljöpåverkan från mikroplast som sprids till omgivningen.

2 Teori

2.1 Mikroplast

Användningen av plast i samhället har ökat under de senaste årtiondena, vilket har lett till att plast återfinns i naturen (K. Magnusson *et al.* 2017). När det gäller mikroplaster i sötvatten finns det många kunskapsluckor, men det är känt att mikroplaster förekommer i sötvatten (Wagner *et al.* 2014). Det har gjorts fler studier om mikroplaster i hav än i sjöar och vattendrag. I början av 2000-talet gjordes de första studierna om plast i hav (ibid.). Studier har visat att det avfall som återfinns i hav domineras av plast (Essel *et al.* 2015). Förutom stora plastföremål som exempelvis flaskor och påsar har även förekomst av mikroplaster i hav verifierats (Wagner *et al.* 2014). Mikroplaster som återfinns i havet kommer från både land- och havsbaserade källor (K. Magnusson *et al.* 2017). Runt 6-10 % av plasten som produceras i världen uppskattas bli marin förorening (Essel *et al.* 2015). Plastavfall har blivit erkänt som ett globalt havsområdesproblem, då mikroplaster kan kvarstå i naturen under århundraden innan de bryts ner (Morét-Ferguson *et al.* 2010).

Mikroplaster kan delas in i primära och sekundära mikroplaster. Primära mikroplaster är de partiklar som är tillverkade att vara mindre än 5 mm. Sekundära mikroplaster är de partiklar som kommer från större plastbitar, som har fragmenterat och blivit mindre bitar (Anderson *et al.* 2015). De större plastbitarna som hamnar i naturen kommer alla förr eller senare att fragmenteras och därmed bilda mikroplaster (K. Magnusson *et al.* 2017).

2.1.1 Nedbrytning

Fullständig nedbrytning av plastpolymerer i naturen kan ta århundraden eller årtusenden (Kärrman, Schönlaue & Engwall 2016). Under tiden som plasten finns kvar i naturen kan den färdas långa vägar via vatten. De mikroplastpartiklar som är lättare än vatten flyter på ytan och blir med tiden sköra på grund av UV-strålningen från solen, vilken bryter ned plasten. Nedbrytningshastigheten för plast beror inte enbart på UV-strålningen utan dessutom på typen av polymer samt hur mycket tillsatskemikalier plasten innehåller. Mikroplaster i hav återfinns inte bara på ytan, utan de partiklar som är tyngre än vatten sjunker genom vattenmassan och återfinns på djupet i sediment (ibid.).

2.1.2 Effekter hos vattenlevande organismer

Mikroplaster har hittats i bland annat filterorganismer, ryggradslösa djur, fiskar, fåglar och däggdjur. Största orsaken till att mikroplaster tas upp av marina organismer tros vara att de misstas vara föda. Uptag via passiv filtrering av vatten genom organismen förekommer också (Barboza *et al.* 2018). Hos organismer med matsmältningskanal kan denna vid intag av mikroplaster skadas. Även matsmältningen kan förhindras genom att intaget av föda blockeras (Essel *et al.* 2015).

Studier har visat att mikroplaster tas upp i mag-tarmkanalen hos organismer (Kärrman, Schönlaui & Engwall 2016). Tillsatskemikalier i plasten som läcker ut i organismen kan vara toxiska eller störa organismers endokrina system (Essel *et al.* 2015). Exempel på sådana tillsatskemikalier är mjukningsmedel, lim, flamskyddsmedel och pigment. Andra effekter som har påvisats är exempelvis påverkad filtrering och minskad larvutveckling hos musslor, minskad reproduktion hos kräftdjur, levertoxicitet hos fiskar samt nedsatt allmäntillstånd hos fåglar (Kärrman, Schönlaui & Engwall 2016). Det är inte enbart tillsatskemikalier som kan läcka ut när mikroplaster tas upp av organismer, utan även bi-produkter som finns kvar i plasten från framställningsprocessen kan läcka ut. Dessutom kan kemikalier från den omgivande miljön binda till mikroplastytan och därmed även tas upp av organismer (ibid.). Mikroplaster kan på grund av bindning till sin yta verka som transportörer av föroreningar, invasiva arter och patogener (Essel *et al.* 2015).

2.1.3 Effekter på människors hälsa

Allt fler studier om mikroplasters förekomst och spridning i marin miljö görs, men inte lika många studier har gjorts om mikroplasters potentiella risker för mänsklig hälsa (Barboza *et al.* 2018). Studier visar att kräftdjur, musslor och fisk ofta är kontaminerade med mikroplaster. Detta möjliggör att människor vid intag av dessa djur exponeras för mikroplaster samt kemikalierna de innehåller. Mikroplaster har även hittats i annan föda relevant för människor, så som honung, socker och öl. Många av de kemiska produkter som används i framställningen av plast är giftiga för både människor och djur. Dessa kemikalier kan bland annat vara carcinogener, endokrina störare samt neurotoxiska kemikalier (ibid.).

Barboza *et al.* (2018) har sammanställt rapporter som visar att mikroplaster som är större än 150 μm förmodligen inte absorberas i människokroppen. Mikroplaster mindre än 150 μm skulle dock kunna ta sig ut ur tarmarna och vidare till lymfsystem och blodomlopp. Enbart mikroplaster mindre än 20 μm kan ta sig igenom organ och mikroplaster mindre än 10 μm skulle potentiellt kunna ta sig igenom cellmembran. Om detta skulle hända i en människokropp kan mikroplaster potentiellt hamna i muskler, lever och hjärna. Enligt studier tros mikroplasters interagerande med immunsystemet leda till immunotoxicitet samt trigga effekter som nedsatt immunförsvar och inflammationer (ibid.).

2.1.4 Spridning

Mikroplaster sprids via dagvatten, men kan även spridas via spillvatten. Då är källan till mikroplastspridning anslutna hushåll, företag och industrier (K. Magnusson *et al.* 2017). I reningsverken renas spillvatten vilket förhindrar en del av mikroplasterna att nå vattenrecipienter. Dagvatten släpps dock ofta ut orenat (Jönsson 2016).

2.2 Konstgräsplaner

Fördelarna med att använda konstgräs istället för naturligt gräs är bland annat att spelsäsongen förlängs då konstgräs ger en tålig, jämn och stabil yta att spela på större delen av året (Naturvårdsverket 2020b). En naturgräsplan kan nyttjas mellan 200 och 400 timmar per år, medan antalet speltimmar för en konstgräsplan är 2000-2500 timmar (Upplands-Brokommun u.å.). Konstgräsplaners dämpande egenskaper är välfungerande oavsett väderförhållande (Naturvårdsverket 2020b). Kostnaden för att anlägga en konstgräsplan varierar kraftigt beroende på vilken typ av konstgräsplan det är som anläggs, vilket ifyllnadsmaterial som används samt om man bygger planen med eller utan värmesystem (Pers kom Cerna 2020a). I konstgräsmattor används lim för att limma ihop remsor av mattan. Förut användes latex-lim för att limma ihop remsorna. Latex är dock vattenlösligt, vilket gör att limmet i skarvarna mellan remsorna försvinner. När detta sker kan spelare snubbla på kanterna. På senare tid har PU-lim börjat användas (polyuretan-lim), vilket inte är vattenlösligt (ibid.).

2.2.1 Uppbyggnad

Det finns fyra olika typer av konstgräsplaner, som heter första, andra, tredje samt fjärde generationens konstgräsplan. Den klart vanligaste typen av konstgräsplan i Sverige är tredje generationens konstgräsplan. Av de ca 1000 konstgräsplaner som finns i Sverige är runt ett trettiotal av dem fjärde generationens konstgräsplan. Nästan alla resterande konstgräsplaner är tredje generationens konstgräsplan (Pers kom Cerna 2020b).

Första generationen

Första generationens konstgräsplan består av en filtmatta (Pers kom Cerna 2020a).

Andra generationen

Andra generationens konstgräsplan har konstgräsfiber samt sand som ifyllnadsmaterial. Sanden i konstgräsplanen brukar kallas för stabiliserings-infill (ibid.).

Tredje generationen

Tredje generationens konstgräsplan har längre gräsfiber än andra generationen. Den har som den andra generationen sand men även ett så kallat performance infill, vilket kan vara gummigranulat, kork, kokos med mera. Syftet med performance infill är att ge planen goda speltekniska egenskaper (ibid.).

Fjärde generationen

Fjärde generationens konstgräsplan har samma gräshöjd som en tredje generationens konstgräsplan, men istället för performance infill har man så kallade krullfibrer. Dessa fibrer ger god struktur till konstgräsplanen, men kan efter en viss tid av användning packas och bilda en väldigt hård yta att spela på. När fibrerna på en fjärde generationens konstgräsplan viker sig kan man inte, som för tredje generationens konstgräsplan, harva och borsta planen för att göra den mindre packad (Pers kom Cerna 2020a).

2.2.2 Granulat

Det finns idag flera olika typer av granulater och beroende på vilken typ som används behöver en tredje generationens konstgräsplan fyllas med olika stor mängd. En annan faktor som avgör hur mycket granulat en plan måste fyllas med är hur högt planens gräsfibrer är (ibid.). De vanligast förekommande typerna av granulat beskrivs nedan:

Styren-Butan-Dien-gummi

Den vanligaste typen av granulat i Sverige är gummi från återvunna bil- och maskindäck, Styrenbutandiengummi (SBR). SBR används på ca 60-70 procent av Sveriges konstgräsplaner (Naturvårdsverket 2020a). En 11-manna konstgräsplan som fylls med SBR kan innehålla ca 51 ton granulat (S. Magnusson 2015). SBR kostar 2500-2700 kr per ton (Pers kom Cerna 2020a).

Etylen-Propylen-Dien-gummi

Etylen-Propylen-Dien-gummi (EPDM) är nytillverkat färgat gummigranulat med hög resistens mot UV-strålning och värme (Naturvårdsverket 2020b). En 11-manna konstgräsplan som fylls med EPDM kan innehålla ca 61 ton granulat (S. Magnusson 2015). EPDM kostar 18000-20000 kr per ton (Pers kom Cerna 2020a).

Recycled Etylen-Propylen-Dien-gummi

Recycled Etylen-Propylen-Dien-gummi (R-EPDM) är återvunnet gummi från exempelvis kablar och bilmattor (S. Magnusson 2015). R-EPDM-granulat har en bulkdensitet på 500 kg/m^3 . En 11-manna konstgräsplan som fylls med R-EPDM kan innehålla ca 61 ton granulat (ibid.). R-EPDM kostar 15000 kr per ton (Pers kom Cerna 2020a).

Termoplastisk elastomer

Termoplastisk elastomer (TPE) är en typ av granulat som är en blandning av plast och gummi med hög elasticitet (Naturvårdsverket 2020a). En 11-manna konstgräsplan som

fills med TPE kan innehålla ca 87 ton granulat (S. Magnusson 2015). TPE kostar 18000-20000 kr per ton (Pers kom Cerna 2020a).

Livscykelanalys granulat

I en studie av Johansson (2018) påvisades att olika typer av granulat medför olika stor miljöpåverkan under sin livstid. I studien genomfördes en så kallad livscykelanalys. I en livscykelanalys identifieras den potentiella miljöpåverkan från en produkt under dess livstid. Exempel på miljöpåverkan är utsläpp av växthusgaser och användning av energi eller resurser (Johansson 2018).

I studien genomfördes en livscykelanalys för fyra olika typer av ifyllnadsmaterial till konstgräsplaner. Typerna som undersöktes var SBR, kork, EPDM och TPE. De miljöpåverkanskategorier som undersöktes var klimatpåverkan, fossil energianvändning, förurning, övergödning, marknära ozon, markanvändning samt vattenförbrukning (ibid.). Resultatet som erhöles var att SBR har lägst miljöpåverkan jämfört med de andra typerna av ifyllnadsmaterial. Kork hade den största markanvändningen och EPDM och TPE hade högst koldioxidavtryck, med 15 respektive 28 gånger högre koldioxidavtryck än SBR (ibid.).

2.2.3 Kompaktering

När en konstgräsplan används kompakteras dess ifyllnadsmaterial, vilket innebär att dess granulat packas och att planens granulathöjd minskar. Alla konstgräsplaner kompakteras i olika grad. Om ifyllnadsmaterialet kompakteras innebär det att det blir mer fritt gräsfiber, eftersom granulathöjden har minskat. När det blir för mycket fritt gräsfiber riskerar gräsfibrerna att brytas och gå sönder vid användning av planen. För att motverka detta bör planer harvas och borstas för att lyfta kompakterat granulat och på så sätt få tillbaka ursprunglig granulathöjd. Om en plans ifyllnadsmaterial har kompakteras och den enda åtgärden som vidtas är att fylla på granulat för att minska mängden fritt fiber kommer konstgräsplanen bli stum (Pers kom Cerna 2020a).

I en studie av Kirby & Spells (2006) visade det sig att planens speltekniska egenskaper försämrades vid kompaktering av ifyllnadsmaterialet. Både bollens förmåga att studsa samt rotationsmotståndet minskade när planen hade använts väl under de senaste månaderna (Kirby & Spells 2006). I en annan studie av Fleming (2011) erhöles resultatet att upplevelsen av en kompakterad och hård plan är vanlig hos spelare och planskötare efter att planen har använts under en längre tid. Fleming (2011) skriver även i sin rapport om ett projekt i Holland där 50 stycken konstgräsplaner undersöktes. På dessa planer gjordes FIFA:s standardtest av konstgräsplaner, där planens hårdhet och kompressibilitet samt bollens studs- och rullningsförmåga testas. Studien visade att planens hårdhet ökade och kompressibilitet minskade. Till följd av detta minskade bollens studs- och rullningsförmågan ökade. Effektivt underhåll av planer kan försena eller till och med förhindra att planen kompakteras (Fleming 2011).

2.2.4 Drift och underhåll

Tanken var att konstgräsplaner skulle vara underhållsfria, men det visade sig att underhåll är nödvändig för att upprätthålla de speltekniska egenskaperna samt säkerheten för spelare. Exempelvis kan en för hård och kompakterad plan vara skadligt för spelare som ramlar på planen (McLaren, Fleming & Forrester 2012). Underhåll av konstgräsplaner kan delas in i tre kategorier: skötsel, städning och uppluckring (eng: *grooming, cleaning and decompaction*)(ibid.). Skötseln innefattar påfyllnad av ifyllnadsmaterial. När detta görs fylls grässtråna ut. Städningen innebär att all typ av skräp avlägsnas från planen, så som vegetation och jord. Uppluckringen innebär att åtgärder vidtas så att kompakteringen av ifyllnadsmaterial motverkas (ibid.). I studien i Holland sågs trenden att högre användningsgrad och mindre underhåll av planen ledde till att planens egenskaper försämrades mer (Fleming 2011).

Livslängden på en konstgräsplan varierar mellan 8-15 år beroende på hur mycket planen används och hur väl den underhålls. Regelbundet underhåll av konstgräsplaner krävs, då de förlorar granulat till följd av användningen. På grund av att granulat avlägsnas från konstgräsplanen samt att granulatet kan kompakteras behöver en konstgräsplan fyllas på med granulat för att behålla planens egenskaper (Naturvårdsverket 2020b). Hur mycket som behöver fyllas på varierar kraftigt. Det som avgör är vilken typ av konstgräsplan det är samt vilket granulat den är fylld med. Om planen nyttjas vintertid och därmed snöröjs avlägsnas ännu mer granulat. Granulat som hamnat utanför planen bör fyllas på kontinuerligt (Pers kom Cerna 2020a).

Enligt Naturvårdsverket (2020b) har den som ansvarar för anläggning, underhåll och skötsel av en konstgräsplan skyldighet enligt miljöbalken att i egenskap av verksamhetsutövare vidta åtgärder för att minska miljöpåverkan från konstgräsplanen. Exempel på sådana skyldigheter är att planera och kontrollera verksamheten för att motverka eller förebygga påverkan på miljön och skaffa sig kunskap för att skydda människors hälsa och miljön från negativa konsekvenser (Naturvårdsverket 2020b). Dessutom ska verksamhetsutövaren använda bästa möjliga teknik samt undvika användning av kemiska produkter för att så långt som möjligt undvika påverkan på miljö och människors hälsa (Naturvårdsverket 2019). Naturvårdsverket har även en rekommendation till verksamhetsutövarna att ta fram en plan för att minska miljöpåverkan från konstgräsplaner. Planen kan till exempel innehålla åtgärder för regelbunden utvärdering av fyllnadsmaterial, minska svinn av granulat samt utbilda planskötare (ibid.). Vilka åtgärder som inkluderas varierar mellan olika konstgräsplaner. Det som avgör vad som inkluderas är bland annat konstgräsplanens ålder, utformning samt dess placering i förhållande till omgivande miljö (ibid.).

2.2.5 Spridning av mikroplaster från konstgräsplaner

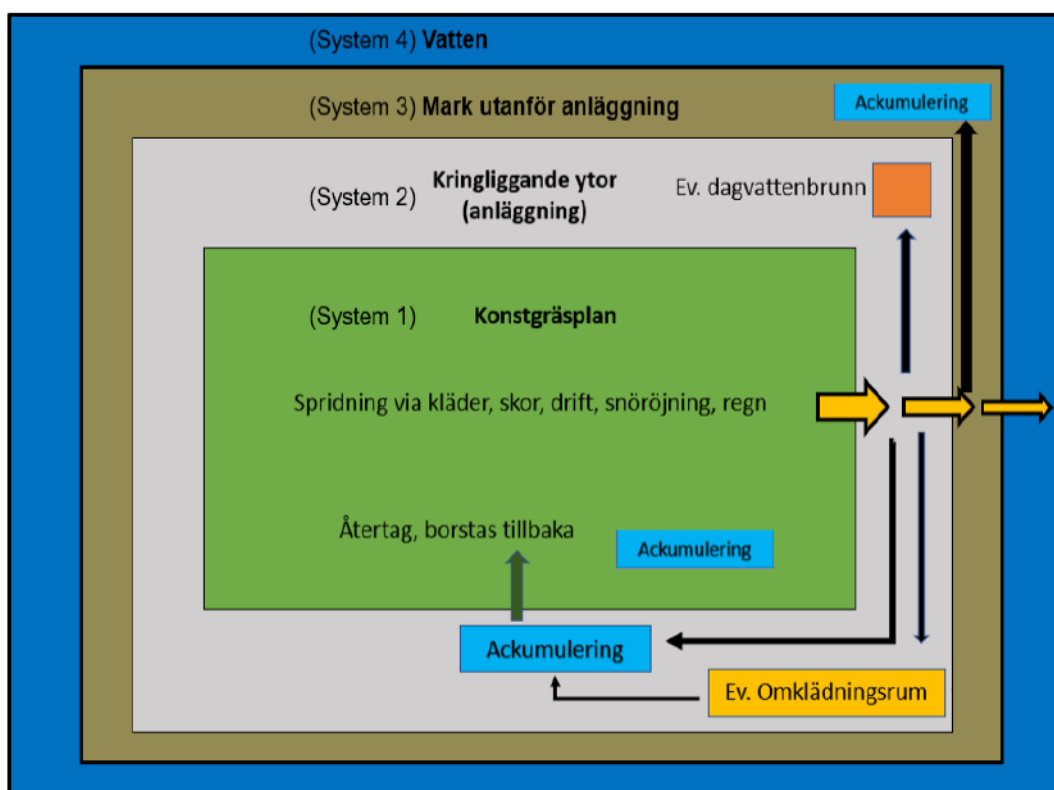
Granulatet som används i konstgräsplaner är ca 2-3 mm stora och klassas därför som mikroplaster (Naturvårdsverket 2020a), närmare bestämt en primär mikroplast då den tillverkas i denna storlek. Förutom att granulat kan spridas via snöröjning, spelares kläder

och skor samt via avrinning och dränering, kan granulatet även brytas ned och bilda ännu mindre mikroplaster. Dessutom kan mikroplaster uppstå vid slitage av konstgrässtråna. Uppskattningsvis slits och sprids 5-10 % av konstgrässtråna per år (Lassen *et al.* 2015).

Mikroplaster som sprids från konstgräsplanen och idrottsplatsen till omgivningen bedöms ha potentiella ekologiska konsekvenser (Regnell 2017). Mikroplastspridning från konstgräsplaner i form av granulat samt slitage av konstgrässtråna har flera möjliga spridningsvägar. Det kan antingen sprida sig till omgivande jord, asfalterade områden runt planen med möjlig spridning till dagvatten via brunnar, eller via dräneringsvatten. Via dräneringsvatten kan mikroplasterna antingen färdas ned genom marken, hamna i avloppssystemet eller hamna i vattendrag på grund av kraftigt regnfall (Lassen *et al.* 2015). Granulat som sprids från en konstgräsplan kan utgöra en miljörisk om det hamnar i naturen. Som tidigare nämnt bryts mikroplaster ned långsamt i naturen och olika typer av granulat kan innehålla farliga ämnen, vilka kan ha negativa effekter på organismer (Naturvårdsverket 2020a).

I studien utförd av Magnusson *et al.* (2017) uppskattades att endast slitage från däck och vägar ger större spridning av mikroplaster än konstgräsplaner i Sverige. I studien gjordes uppskattningen att 2300-3900 ton mikroplaster sprids från konstgräsplaner i Sverige varje år. Rapporten reviderades år 2017 och då ändrades denna siffra till 1640-2460 ton. Denna siffra erhöles dock inte med hjälp av mätningar utan genom att fråga ett antal kommuner om hur mycket granulat de fyller på sina konstgräsplaner med årligen, vilket bedömdes vara ca 2-3 ton per plan och år. Denna siffra användes sedan för att uppskatta hur mycket mikroplaster som avlägsnas från konstgräsplaner i Sverige (K. Magnusson *et al.* 2017).

I projektet av Regnell (2019) uppmättes att ca 66 kg mikroplaster potentiellt kan spridas från en konstgräsplan per år via exempelvis spelares kläder och skor. I denna studie var spridning till följd av snöröjning inte inkluderat. I projektet användes fyra olika system med systemgränser, där system 1 var konstgräsplanen, system 2 idrottsanläggningen, system 3 mark utanför anläggningen och system 4 vattenrecipient. Figur 1 visar en översiktsbild över konstgräsplanen och de fyra systemen.



Figur 1: Figur över systemgränserna för konstgräsplanen i Regnells (2019) projekt. Bild kopierad med tillstånd.

2.3 Hantering av granulat som spridits via snöröjning

Det finns olika sätt att hantera granulatet som avlägsnas från planen via snöröjning. Antingen återanvänds detta granulat genom att det återförs till konstgräsplanen eller så samlas det upp och avfallshanteras (Naturvårdsverket 2020b). Granulat som hamnat utanför planen bör återföras i största möjliga mån. Om granulatet har blandats med löv, kvistar och annat organiskt material och skräp kan det renas i en granulatrensare, vilket är som en stor trumma som snurrar och filtrerar bort det som inte är granulat. Ibland renas granulatet efter att det har återförts till planen med en särskild maskin. Tidigare har det förekommit att granulat som spridits inte har tagits omhand, men sedan mikroplastspridning från konstgräsplaner uppmärksammades har olika hanteringssätt tillämpats (Perskom Cerna 2020a).

2.3.1 Svenska Fotbollsförbundets rekommendation

Svenska Fotbollsförbundet tog år 2018 fram en rekommendation för hur granulat som hamnat utanför konstgräsplaner till följd av snöröjning ska hanteras. För det första ska man planera anläggandet av en konstgräsplan så att det finns en plats i anslutning till planen som kan verka som snöupplag. Det kan antingen vara en asfalterad yta, en grusplätt med markduk eller en uttjänt konstgräsmatta (SvenskaFotbollsförbundet 2018). Svens-

ka Fotbollsförbundets rekommendation är att det granulat som ligger kvar efter att den undanröjda snön har smält ska samlas upp och återföras till planen för att på så sätt återanvändas. Granulat som av andra anledningar hamnar utanför planen ska även denna återföras (SvenskaFotbollsförbundet 2018).

2.3.2 Alternativa hanteringssätt

Ett alternativ till att återföra det spridda granulatet till konstgräsplanen är att avfallshandera det och istället tillföra nytillverkat granulat till konstgräsplanen. Detta kan tänkas vara en metod som är lämplig att använda då det gamla granulatet har blivit utslitet, eftersom när granulatet slits kan det fragmentera och bilda ännu mindre mikroplaster (Lassen *et al.* 2015). Dessa mindre mikroplaster kan spridas och är på grund av sin storlek svårare att hantera än granulat. Dessutom kan avfallshantering av granulat vara ett alternativ om granulatet anses vara för smutsigt för att rena. Kommuner har dock i större utsträckning börjat, i största möjliga mån, återföra granulat som hamnat utanför konstgräsplanen, vilket gör att granulat sällan slängs (Pers kom Cerna 2020a).

2.4 Tidigare studier

Det finns ett antal tidigare studier som undersökt mikroplastspridning från konstgräsplaner. Ingen har dock tidigare undersökt hur mycket mikroplast som sprids från en konstgräsplan via snöröjning. Nedan presenteras några tidigare studier om mikroplastspridning från konstgräsplaner.

Som tidigare nämnt utförde IVL (K. Magnusson *et al.* 2017) en studie om spridning av mikroplaster i Sverige. Då undersöktes svenska källor och spridningsvägar för mikroplaster i marin miljö. Slitage av vägar och däck är enligt studien den största källan till mikroplastspridning i Sverige, med ca 13000 ton mikroplaster per år. Den näst största källan är konstgräsplaner, där uppskattningsvis 1640-2460 ton mikroplaster sprids per år. Denna siffra är som tidigare nämnt en uppskattning och är inte baserad på mätningar. Data över mikroplastinnehåll i dagvatten är bristfällig och det är därför svårt att avgöra hur stor del av den spridda mikroplasten som hamnar i vattenrecipienter (*ibid.*).

Liknande studier som den utförd av IVL har gjorts i bland annat Norge, Danmark och Tyskland. I en studie utförd av Sundt *et al.* (2014) kom man fram till att den största källan till mikroplastspridning i Norge är slitage av vägar och däck. I studien av Essel *et al.* (2015) låg det största fokuset på bland annat mikroplastspridning från kosmetika och rengöringsmedel i Tyskland. I studien av Lassen *et al.* (2015) kom man också fram till att slitage av vägar och däck är den största källan till mikroplastspridning, följt av mikroplaster från konstgräsplaner. Studien av Lassen *et al.* (2015) är den enda av de tre nämnda studierna som liksom studien utförd av IVL undersökte mikroplastspridning från konstgräsplaner. I studien av Lassen *et al.* (2015) uppskattade man att mikroplastspridningen från konstgräsplaner i Danmark är 450-790 ton per år. Det som däremot inte undersöktes i studien av varken Magnusson *et al.* (2017) eller Lassen *et al.* (2015) är hur mycket av den spridda mikroplasten från konstgräsplaner som uppstår till följd av snöröjning.

I dessa två rapporter listas endast snöröjning som en källa till mikroplastspridning från konstgräsplaner.

I ett examensarbete utfört av Regnell (2017) var syftet att identifiera möjliga orsaker till spridning av mikroplaster från en konstgräsplan, med en djupare analys av spridningen till dränerings- och dagvattenbrunnar. Regnell kom fram till att orsakerna till mikroplastspridning från konstgräsplaner är aktivitet på planen, borstning av planen, snöröjning och regn. I projektet användes två systemgränser: ett inre system som utgörs av själva konstgräsplanen och ett yttre system som utgörs av det närliggande området kring konstgräsplanen och kan likställas med idrottsanläggningen. Mikroplaster som sprids utanför yttre systemet är de som kan ge ekologiska konsekvenser (Regnell 2017). Det uppskattades att det avlägsnas 200-800 kg mikroplaster per plan och år via snöröjning. Dock sprids inte all denna mikroplast utanför yttre systemet, utan granulat kan återföras till konstgräsplanen för vidare användning (ibid.).

I ett examensarbete utfört av Yvonne Trinh (2019) undersöktes mikroplastspridning från en konstgräsplan i Uppsala. Mätningar gjordes i dagvatten i en dagvattenbrunn som ligger i nära anslutning till konstgräsplanen för att erhålla plastpartikel- och plastfiberkoncentrationen. I dagvattnet påträffades 6 partiklar/l och 6,4 fibrer/l, men inget gummigranulat påträffades (Trinh 2019). I projektet uppskattades totala mängden mikroplast som färdas med dagvatten från konstgräsplaner i Uppsala samt i hela Sverige. Mängden mikroplaster i Uppsala uppskattades med hjälp av mängden mikroplaster från konstgräsplanen i Uppsala vid vilken mätningar gjordes. Denna mängd multiplicerades med antalet konstgräsplaner i Uppsala respektive i Sverige. Mängden mikroplaster som sprids via dagvatten i Uppsala uppskattades till 0,56 kg/år och för hela Sverige 48 kg/år.

I ett projekt utfört av Regnell, undersöktes en konstgräsplan i Kalmar. Under 2018-2019 utreddes hur stor spridningen av mikroplaster är från en modernt utformad konstgräsplan med skyddsåtgärder mot spridning av mikroplaster (Regnell 2019). Flera spridningsvägar för mikroplast från konstgräsplaner identifierades, bland annat via spelare, driftsfordon, dagvattenbrunnar, ytvatten från asfalterade ytor runt planen samt dräneringsvatten (ibid.). I studien jämfördes potentiell mikroplastspridning från ett åtgärdsalternativ med ett utgångsläge utan åtgärder. Åtgärdsalternativet innebar att det i anslutning till planen fanns granulatfällor och filter i brunnar, installerade borststationer för spelarna att borsta av sig, driftredskap samt att driftsfordon som lämnar anläggningen borstas efter varje driftstillfälle. Utgångsläget utan åtgärder innebar att det vid planen inte fanns några granulatfällor eller filter i brunnar, ingen borststation samt att driftsfordon lämnar anläggningen dagligen utan att borstas (ibid.). Runt 66 kg mikroplaster beräknades potentiellt kunna spridas per år om inga åtgärder vidtogs. Slutsatsen som kunde dras av projektet var att 99 % av den potentiella mikroplastspridningen från konstgräs kan förhindras. De mikroplaster som inte kunde hindras från att spridas till vatten uppskattades uppgå till ca 100 g per plan och år, där runt 10 % bedöms vara gummigranulat (ibid.). Mikroplasterna som inte kan hindras från att spridas till vatten visade sig ha som störst spridning under det första halvåret efter att konstgräsplanen hade anlagts. Runt 96 % av spridningen skedde under det första halvåret, medan resterande 4 % spreds under det andra

halvåret (Regnell 2019).

De siffror över mikroplastspridning från konstgräsplaner som erhöles i studierna är således att i studien av Magnusson et al (2017) uppskattades mängden mikroplaster som sprids från konstgräsplaner i Sverige till 1640-2460 ton per år. I studien av Lassen et al (2015) uppskattades mikroplastspridningen från konstgräsplaner i Danmark till 450-790 ton per år. I examensarbetet av Regnell (2017) uppskattades mängden mikroplaster som sprids via snöröjning till 200-800 kg per plan och år. I examensarbetet av Trinh (2019) gjordes uppskattningen att 0,56 kg mikroplaster per år sprids från konstgräsplaner i Uppsala. I projektet utfört av Regnell (2019) uppskattades att ca 66 kg mikroplaster potentiellt kan spridas från konstgräsplanen som undersöktes om inga åtgärder för att förhindra mikroplastspridning vidtas. De mikroplaster som inte kan hindras att spridas till vatten trots åtgärder uppskattades till 100 g per plan och år (ibid.).

I denna studie undersöktes som tidigare nämnt överföringen av mikroplaster från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen för snö via snöröjning. Ingen studie har, som även detta tidigare nämnt, undersökt hur mycket mikroplaster som sprids från en konstgräsplan till omgivningen till följd av snöröjning. Studien kan ses som ett första steg i den processen, då det i denna studie kartlades hur mycket mikroplaster som kan överföras från en konstgräsplan till dess uppsamlingsplats via snöröjning. Vidare kan det undersökas hur mycket mikroplaster som sprids från uppsamlingsplatsen till omgivningen.

2.5 Platsbeskrivning av konstgräsplanerna i Botkyrka

Konstgräsplanen som mätningar gjordes på heter Brantbrinks IP. En annan konstgräsplan, Brunna IP, användes som referens då denna plan inte snöröjdes under projektets gång. Både Brantbrinks IP och Brunna IP ligger i Botkyrka kommun, söder om Stockholm. Brantbrinks IP ligger i Tullinge och Brunna IP i Norsborg (se figur 2).



Figur 2: Figur med Brunna IP (A) och Brantbrinks IP (B) samt en mätstation som väderdata laddades ned från (röd prick). ©Lantmäteriet (2020).

2.5.1 Brantbrinks IP

Brantbrinks IP är en tredje generationens konstgräsplan och är fylld med R-EPDM-granulat (Pers kom Cerna 2020a). Planen är 64x110 m. Antal speltimmar i veckan på Brantbrinks IP är ca 20 timmar med 25-30 spelare på planen per tillfälle (Pers kom Jansson 2020a)). I anslutning till planen finns en mindre konstgräsplan som är uppsamlingsplats för undanröjd snö.



(a) Brantbrinks IP.



(b) Uppsamlingsplats.

Figur 3: Brantbrinks IP och uppsamlingsplats för undanröjd snö.



Figur 4: Översiktsbild över Brantbrinks IP med konstgräsplanen som snöröjdes (A) och uppsamlingsplatsen (B). ©Lantmäteriet (2020).

2.5.2 Brunna IP

Brunna IP är en tredje generationens konstgräsplan och är fylld med R-EPDM-granulat (Pers kom Cerna 2020a). Planen är 64x110 m. Antal speltimmar i veckan på Brunna IP ca 20 timmar med 25-30 spelare på planen per tillfälle (Pers kom Jansson 2020a). I anslutning till planen finns en mindre konstgräsplan som är uppsamlingsplats för undanröjd snö.



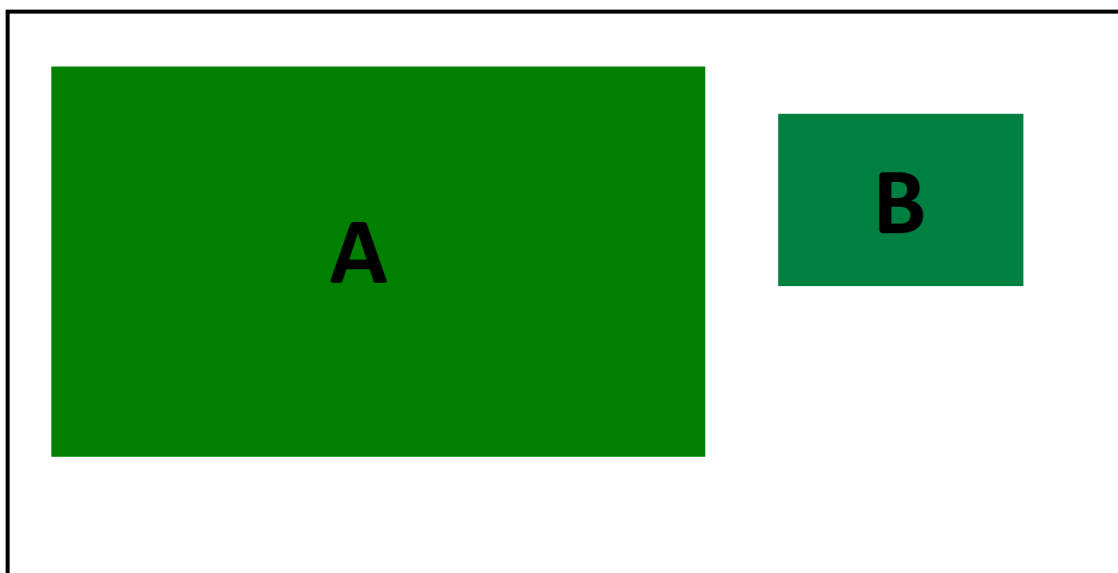
Figur 5: Brunna IP.



*Figur 6: Översiktsbild över Brunna IP med konstgräsplanen (A) och uppsamlingsplatsen (B).
©Lantmäteriet (2020).*

2.5.3 Systemgränser Brantbrinks IP

Som tidigare nämnt kvantifierades i detta projekt mängden mikroplaster som spreds från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen via snöröjning. Mikroplaster som spreds från idrottsplatsen till omgivningen kvantifierades inte. I figur 7 illustreras Brantbrinks IP med konstgräsplan och tillhörande uppsamlingsplats. Den svarta linjen markerar gränsen mellan idrottsplatsen, med konstgräsplan och uppsamlingsplats, och omgivningen.



Figur 7: Ritning över Brantbrinks IP med konstgräsplanen (A) och uppsamlingsplatsen (B). Den svarta linjen markerar gränsen mellan idrottsplatsen och omgivningen.

I detta projekt avser således spridning de mikroplaster som förflyttas från A till B via snöröjning och inte utanför figurens svarta linje (se figur 7). För att jämföra med figur 1 undersöktes i detta projekt mikroplaster som sprids från system 1 till system 2, och inte vidare till system 3 och 4.

2.6 Kostnad-nyttoanalys

Kostnad-nyttoanalys (KNA) är en teknik som kan underlätta beslutsfattande om användning av samhällets resurser (Schofield 1997). I en KNA vägs nyttan med ett projekt eller en förändring mot dess kostnad. För att exemplifiera detta skriver Layard & Glaister (1994) att ett hypotetiskt projekt A ska utföras om dess nytta överskrider nyttan som det näst bästa alternativet medför. För att ta det ett steg vidare skriver Layard & Glaister (1994) att A ska utföras om dess nytta överstiger dess kostnad. Svårigheten med KNA är hur kostnad och nytta ska mätas för att därefter kunna jämföras. Om det teoretiska projektet A visar sig vara överlägset ett annat alternativ B i en aspekt, men däremot sämre i en annan, blir beslutet mellan de båda alternativen svårare än om A hade varit överlägsen

B i alla aspekter (Layard & Glaister 1994).

Metoden för hur KNAn i detta projekt utfördes var på ett sätt som till författarens kännedom inte gjorts tidigare. Denna metod redogörs för i avsnitt 3.3.

3 Metod

3.1 Mätningar

För att kvantifiera mängden granulat som transporterades från Brantbrinks IP till dess uppsamlingsplats via snöröjning gjordes tre olika typer av mätningar. Huvudmätningen var den så kallade totalmätningen. De andra två mätningarna användes för att verifiera resultatet från totalmätningen samt för att utveckla alternativa mätmetoder. Respektive mätning beskrivs mer ingående i avsnitten nedan.

3.1.1 Totalmätning

Totalmätningen av granulat vid Brantbrinks IP gjordes 7 april. Planen hade snöröjts två gånger och därför blev det två snöhögar med undanröjd snö, en från varje snöröjningstillfälle. Snöhögen från snöröjningstillfälle 1 benämns vidare som snöhög 1 och snöhögen från snöröjningstillfälle 2 benämns som snöhög 2. När snöhögarna smält blev det två högar med granulat kvar, en från respektive snöröjningstillfälle. Följande material användes för att mäta den totala mängden spridd granulat:

- 1 snöskyffel
- 5 hinkar á 10 liter
- 1 badrumsvåg
- 1 mindre våg
- sopsäckar
- 1 sked
- plastpåsar

När de två snöhögarna på uppsamlingsplatsen vid Brantbrinks IP hade smält vägdes mängden granulat som låg kvar. Alla fem hinkar vägdes och deras massa noterades. Sedan skyfflades granulatet som låg kvar på marken ner i de fem hinkarna och hinkarna med granulat vägdes. Efter att granulatet vägts lades det i sopsäckar och samma procedur upprepades tills allt granulat från båda högarna var vägt. Allt granulat gick dock inte att skyffla upp då det fastnade i konstgräsmattan på uppsamlingsplatsen. Därför gjordes en uppskattning av hur många hinkar á 10 liter det kvarliggande granulatet skulle fylla. Beräkningar för detta återfinns i Bilaga A.



Figur 8: Granulatet som var kvar efter att snöhögarna från respektive snöröjningstillfälle hade smält.



Figur 9: Hinkar fyllda med granulat.

Två mindre påsar fylldes med granulat från respektive snöhög med en sked. Detta för att kunna torka, väga och sedan beräkna en viktprocent vatten för granulatet i respektive hög. Detta gjordes på samma sätt som torkning och vägning av granulat i avsnitt 3.1.2.

3.1.2 Stickprovsmätning

Målsättningen med stickprovsmätningen var dels att kunna jämföra resultatet med totalmätningens resultat, men även att utveckla en alternativ mätmetod till totalmätningen. Med stickprovsmätning kan mätning och uppskattning av mängden granulat i snöhögar med undanröjd göras utan att behöva invänta att snöhögarna har smält för att göra en totalmätning.

Stickprovsmätningar i undanröjd snö från Brantbrinks IP utfördes. Planen snöröjdes två gånger under projektets gång, 26 januari och 27 januari. Det utfördes två stickprovsmätningar, en i varje hög med undanröjd snö från respektive snöröjningstillfälle, 27 januari och 3 mars.

Vid varje snöröjning av Brantbrinks IP förde driftspersonalen dokumentation (se Bilaga E). Vid första snöröjningstillfället plogades planen i 2,5 timmar. Snön bedömdes av driftspersonalen vara fluffig och ca 5 cm hög. Det var vid tillfället uppehållsväder och molnigt med en temperatur mellan -3 och 0 grader. Vid andra snöröjningstillfället plogades planen i 4 timmar och 15 minuter. Snön bedömdes av driftspersonalen vara fluffig på väg mot kramsnö. Det snöade och var molnigt vid tillfället.

Provtagning

Följande material användes vid provtagning:

- 1 snöskyffel
- 5 hinkar á 10 liter



(a) De fem 10-litershinkarna.



(b) Snöskyffeln.

Figur 10: Material som användes vid provtagning.

Fem hinkar fylldes med snö från fem olika platser i snöhögen. Platserna valdes genom att inspektera snöhögen för att se hur granulatmängden varierade i högen. Snöhögen delades in i sektioner utefter hur mycket granulat delar av snöhögen innehöll. Prover togs från varje del som snöhögen var indelad i, för att få med snö med olika mängd granulat i. Alla hinkar fylldes till bredden med snö och innehöll därför 10 liter snö vardera. Hinkarna ställdes sedan inomhus, i nära anslutning till uppsamlingsplatsen, för att snön skulle smälta.



(a) De fem hinkarna ståendes på uppsamlingsplatsen, fyllda med snö från snöhögen.



(b) De fem hinkarna ställda inomhus för smältning av snö.



(c) Snöhögen som det första stickprovet togs ur.



(d) En närbild på snöhögen där man kan se granulat i snön.

Figur 11: Bilder från det första stickprovet på Brantbrinks IP.



Figur 12: Snöhögen det andra stickprovet togs ur.

Beräkning av volym snö

Volymen i snöhögarna uppskattades genom att uppskatta hur många hinkar á 10 liter respektive snöhög innehöll. Denna metod har benämningen stickprov (a). Dessutom gjordes en beräkning för hur stor volym snö högarna innehöll med hjälp av nederbördsdata. Denna metod har benämningen stickprov (b).

Vid varje snöröjning laddades timvis data ned för nederbörd (mm) och lufttemperatur (°C) från SMHI:s mätstation i Tullinge (SMHI 2020a). Denna station ligger ca 1,5 km från Brantbrinks IP (se figur 2).

För att beräkna mängden nederbörd som landat på planen innan den började snöröjas vid respektive snöröjningstillfälle summerades den timvisa mängden nederbörd, från att det började snöa till att snöröjningen påbörjades. Enheten i datan är mm nederbörd i smält form. Tumregeln är att 1 cm snö motsvarar 1 mm nederbörd i smält form (SMHI 2020b). Med denna metod tas dock inte hänsyn till att snön kan packas (ibid.). Snö kan packas av flera olika anledningar, exempelvis på grund av ovanliggande snö, vind eller solljus (Laurin 2010).

Den smälta mängden nederbörd multiplicerades med faktorn 10 för att erhålla höjden på snön som låg på planen. För att sedan beräkna volymen snö, v_s , som låg på planen multiplicerades höjden snö, h_s med planens bredd, b och längd, l :

$$v_s = h_s \cdot l \cdot b \quad (1)$$

Filtrering

Filtrering av proverna gjordes 3 mars och 6 mars. Följande material användes för att filtrera proverna:

- 1 granulatfälla för dagvattenbrunnar (200 μm)
- 1 sked
- fryspåsar á 3 liter
- färgade gem



Figur 13: Granulatfällan.

När snön i hinkarna hade smält hälldes smältvattnet från respektive hink genom en granulatfälla. Denna fälla fångar upp partiklar större än 200 μm . Då syfter med denna mätning

var att erhålla en massa för mikroplasterna bedömdes partiklar mindre än $200\ \mu\text{m}$ ha försumbar betydelse viktmässigt. Fällan ställdes på marken och vatten ur en hink i taget hälldes genom fällan. Det filtrerade granulatet lades i fryspåsar och granulat som fastnade i granulatfällan och granulat som var kvar i hinkarna överfördes med hjälp av en sked till fryspåsarna. Påsarna förslöts genom knutar och märktes med färgade gem.



(a) Hinkar med smältvatten och granulat innan filtrering.



(b) Granulatfälla med granulat som fångats upp vid filtrering.



(c) Påsar fyllda med granulat från de fem hinkarna. Påsarna märktes färgade gem i samma färg som siffrorna.

Figur 14: Bilder från filtrering av det första stickprovet på Brantbrinks IP.

Torkning och vägning av granulat

Torkning och vägning av granulat gjordes 12, 13 och 16 mars. Följande material användes vid torkning och vägning av granulat:

- ugn

- 1 ugnssäker form
- 1 våg
- 1 sked

En ugnssäker form vägdes och dess massa noterades. Granulatet i respektive påse hälldes ut i formen och blad, barr, kvistar, grus och annat som inte var granulat eller konstgrässtrån avlägsnades. Ugnsformen med det rensade granulatet i vägdes och denna totalmassa noterades. Granulatets massa innan torkning beräknades genom att subtrahera totalmassan med ugnsformens massa.

Därefter torkades granulatet i ugn i en temperatur på 60°C. Formen med granulat i togs ut en gång var 30:e minut för vägning. Vid varje uttag ur ugnen rördes även granulatet om för att påskynda vidare torkning. När massan vid två vägningar i rad var densamma ansågs granulatet vara torrt och torkningen avbröts. Formen med torkat granulat vägdes och massan noterades. Det torra granulatets massa beräknades genom att subtrahera totala massan med ugnsformens massa. Skillnaden i granulatets massa före och efter torkning beräknades för att erhålla massan för vattnet som torkades bort. Denna massa räknades om till procent av massan för granulatet innan torkning, för att få fram en genomsnittlig vattenandel för granulatet innan torkning.

De två provtagningstillfällena resulterade i 10 fyllda hinkar och därmed 10 olika prover med granulat. Av dessa 10 prov torkades 5 st prov, 3 från snöhög 1 och 2 från snöhög 2. Detta för att kunna beräkna en genomsnittlig vattenandel och applicera denna andel på proverna som inte torkades. Därmed kunde granulatets torra massa beräknas utan att granulatet behövde torkas. Prov 1 och 3 valdes slumpmässigt från respektive snöhög. Att prov 4 från snöhög 1 torkades berodde på att viktprocenten vatten från prov 1 och 3 i snöhög 1 skiljde sig åt. Därför torkades ett tredje prov från snöhög 1.

Tabell 1: Tabell med de 5 proven som togs ur respektive snöhög. Proverna som är gulmarkerade torkades och vägdes.

Snöhög 1	Snöhög 2
1	1
2	2
3	3
4	4
5	5

3.1.3 Kompakteringsmätning

Under projektet utfördes två så kallade kompakteringsmätningar. Syftet med dessa två mätningar var att mäta höjden på konstgräsplanernas granulat innan och efter att konstgräsplanerna snöröjts. På grund av lite snö denna säsong snöröjdes endast Brantbrinks

IP och Brunna IP användes som en referens.

Första mätningen utfördes innan någon snö hade fallit på konstgräsplanerna, 21 januari. Andra mätningen gjordes 6 maj. Mätningarna utfördes tillsammans med Christian Cerna från Unisport. En mätsticka användes för att mäta höjden på planernas granulat. Höjden mättes i 54 punkter fördelade över respektive plan (se Bilaga C). När mätningarna var klara beräknades ett medelvärde av de uppmätta höjderna för att erhålla en genomsnittlig granulathöjd för respektive plan. De båda planerna hade en sandhöjd på ca 10 mm (Pers kom Cerna 2020c), vilken räknades bort innan medelvärdena beräknades. Detta då endast höjden på granulatet, och inte sanden, var av intresse. Inför båda mätningarna som gjordes på respektive plan hade planerna borstats och harvats för att ha så lika förutsättningar som möjligt inför båda mätningarna.



Figur 15: Mätstickan som användes vid kompakteringsmätningarna. Bild: Christian Cerna.

I och med mätningarna erhöles en höjdskillnad på granulatet innan och efter snöröjning

på Brantbrinks IP. Höjdskillnaden som uppmättes på Brantbrinks IP kunde jämföras med höjdskillnaden på Brunna IP. På så sätt kunde en jämförelse mellan hur granulathöjden ändrats på en plan som har snöröjts jämföras med en som inte snöröjts.

3.2 Beräkningar

I detta avsnitt redogörs beräkningarna för de tre olika mätningarna.

3.2.1 Totalmätning

Nedan följer ekvationerna som användes för beräkningar för totalmätningen. Beräkningarna återfinns i Bilaga A. I tabell 2 är förkortningarna i nedanstående ekvationer förklarade.

Tabell 2: Tabell med ekvationernas förkortningar och förklaringar till dem.

Förkortning	Förklaring
m_{gih}	massa granulat i hink
m_{bg}	massa blött granulat
m_h	massa hink
m_u	massa ugnform
m_{tg}	massa torrt granulat
m_v	massa vatten
vpv	viktprocent vatten

Först beräknades massan granulat i varje hink med nedanstående ekvation:

$$m_{gih} = m_{bg+h} - m_h \quad (2)$$

Sedan torkades och vägdes en del av granulatet. Massan för det blöta granulatet beräknades enligt nedan:

$$m_{bg} = m_{bg+u} - m_u \quad (3)$$

Efter torkning beräknades massan för det torra granulatet:

$$m_{tg} = m_{tg+u} - m_u \quad (4)$$

Därefter kunde massan vatten beräknas med nedanstående ekvation:

$$m_v = m_{bg} - m_{tg} \quad (5)$$

Viktprocenten vatten beräknades enligt nedan:

$$vpv = \frac{m_v}{m_{bg}} \quad (6)$$

Därefter kunde torra massan för granulatet i varje hink beräknas:

$$m_{giht} = m_{gih} - (m_{gih} \cdot vpv) \quad (7)$$

Massan i alla hinkar summerades och sedan adderades den uppskattade mängden granulat som låg kvar i konstgräsmattan efter varje snöhög. Dessutom adderades mängden granulat som tagis hem vid stickprovet för torkning och vägning samt mängden granulat som togs hem och torkades och vägdes från totalmätningen. På så sätt erhöles totala mängden granulat som låg kvar efter att snöhögarna smält.

3.2.2 Stickprovsmätning

Nedan följer ekvationerna som användes för beräkningar för stickproverna. Beräkningarna återfinns i Bilaga B. I tabell 3 är förkortningarna i nedanstående ekvationer förklarade.

Tabell 3: Tabell med ekvationernas förkortningar och förklaringar till dem.

Förkortning	Förklaring
m_u	massa ugnnsform
m_{bg}	massa blött granulat
m_{tg}	massa torrt granulat
m_v	massa vatten
vpv	viktprocent vatten
$gvpv$	genomsnittlig viktprocent vatten
m_{gp}	massa granulat och påse
m_p	massa påse
m_{gh}	massa granulat i hink
ash	andel av snöhög
ah	antal hinkar i snöhög
m_{gsh}	massa granulat i snöhög
tm_g	total massa granulat
m_g/l	massa granulat per liter
v_{sh}	volym snöhög
v_h	volym hink

Först beräknades massan för det blöta granulatet i varje prov med följande ekvation:

$$m_{bg} = m_{u+bg} - m_u \quad (8)$$

När granulatet var torkat beräknades massan för det torra granulatet med följande ekvation:

$$m_{tg} = m_{u+tg} - m_u \quad (9)$$

Därefter kunde massan vatten beräknas:

$$m_v = m_{bg} - m_{tg} \quad (10)$$

Sedan beräknades viktprocenten vatten med följande ekvation:

$$vpv = \frac{m_v}{m_{bg}} \quad (11)$$

Ett medelvärde för viktprocenten vatten beräknades för snöhög 1 och 2. För snöhög 2 torkades 2 prover och viktprocenten för båda dessa prover var relativt lika. För att erhålla en genomsnittlig viktprocent vatten som kunde appliceras på de prover i snöhög 2 som inte torkades, beräknades medelvärdet av de 2 viktprocenten.

När det gäller snöhög 1 torkades 3 prover, istället för 2 som för snöhög 2. Detta var av anledningen att de första två proverna som torkades från snöhög 1 hade en viktprocent för vattnet som skiljde sig åt relativt kraftigt. Därmed torkades ett tredje prov från snöhög 1 och denna viktprocent vatten var relativt lik en av de andra provernas viktprocent. Därför beräknades ett medelvärde av de två prover vars viktprocent var lika. Den genomsnittliga viktprocenten vatten beräknades med följande ekvation:

$$\frac{vpv_1 + vpv_2}{2} = gvpv \quad (12)$$

De 5 prov som inte torkades, det vill säga 2 från snöhög 1 och 3 från snöhög 2, vägdes med vågen. Granulatproven låg i varsin 3-liters fryspåse och därför vägdes en tom påse först, vilken visade sig väga 4 gram. Provens vikter, det vill säga granulat + påsen det låg i, noterades och subtraherades med 4 gram vardera för att erhålla massan för endast granulatet.

$$m_{bg} = m_{bg+p} - m_p \quad (13)$$

Sedan beräknades massan torrt granulat med nedanstående ekvation:

$$m_{tg} = m_{bg} - (m_{bg} \cdot vpv) \quad (14)$$

Därefter beräknades massan granulat i respektive sektion i de båda snöhögarna. För att beräkna mängden granulat i en sektion i snöhögen multiplicerades massan granulat i respektive hink med uppskattade och beräknade antalet hinkar i hela snöhögen med sektionsandelen:

$$m_{gs} = m_{gh} \cdot ah \cdot ash \quad (15)$$

Sedan summerades alla sektioners granulatomassa för att erhålla den totala massan granulot i hela snöhögen.

$$t_{mg} = \sum m_{gs} \quad (16)$$

3.2.3 Kompakteringsmätning

Nedan följer ekvationerna som användes för beräkningar för kompakteringsmätningen. Beräkningarna återfinns i Bilaga C. I tabell 4 är förkortningarna i nedanstående ekvationer förklarade.

Tabell 4: Tabell med ekvationernas förkortningar och förklaringar till dem.

Förkortning	Förklaring
h_1	höjd granulot innan snöröjning
h_2	höjd granulot efter snöröjning
h	höjdskillnad granulot innan och efter
b	bredd konstgräsplan
l	längd konstgräsplan
v	volym granulot
ρ_b	bulkdensitet granulot
m	massa granulot

En genomsnittlig granulathöjd för båda konstgräsplanerna innan och efter snöröjning beräknades först. Sedan beräknades skillnaden i genomsnittlig granulathöjd innan och efter snöröjning:

$$h = h_1 - h_2 \quad (17)$$

Därefter beräknades volymen granulot för denna höjdskillnad:

$$v = h \cdot b \cdot l \quad (18)$$

Massan granulot för den beräknade volymen beräknades enligt nedan:

$$m = v \cdot \rho_b \quad (19)$$

3.3 Kostnad-nyttoanalys

En KNA gjordes för fyra olika hanteringssätt av granulat som transporterats från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen via snöröjning. De fyra alternativen presenteras i nedanstående avsnitt.

3.3.1 Alternativen

De fyra hanteringssätten delades in i två huvudalternativ med två underalternativ vardera:

1. Återföring av avlägsnat granulat
 - (a) Återföring utan tvätt
 - (b) Återföring med tvätt
2. Avfallshantering av avlägsnat granulat
 - (a) Avfallshantering med tillförsel av nytillverkat granulat
 - (b) Avfallshantering utan tillförsel av nytillverkat granulat

Alternativ 1a innebär att det granulat som ligger kvar efter att snöhögen smält samlas upp och återförs till konstgräsplanen för vidare användning. Alternativ 1b innebär att granulatet först rengörs innan det återförs till konstgräsplanen för vidare användning.

Alternativ 2a innebär att det granulat som ligger kvar efter att snöhögen smält avfallshanteras och att nytillverkat granulat tillförs planen. Alternativ 2b innebär att granulatet avfallshanteras men att inget nytillverkat granulat tillförs planen.

3.3.2 Kostnad

I detta avsnitt beskrivs hur kostnaden togs fram för de olika alternativen. Beräkningar återfinns i Bilaga D.

Alternativ 1a

För alternativ 1a är det driftspersonalen i Botkyrka kommun som samlar ihop och återför granulatet till planen. Tiden arbetet tar samt hur många ur driftspersonalen som behövs för att utföra arbetet uppskattades för denna säsongs granulatmängd samt en granulatmängd representativ för en mer normal vinter med mer snöfall. Hur den mer normala mängden granulat uppskattades redogörs för i avsnitt 3.3.4. Kostnaden för driftspersonalen/timme multiplicerades med antalet arbetare och antalet arbetstimmar för att erhålla totala kostnaden för denna säsongs granulat samt en mer vanlig vinter.

Alternativ 1b

För alternativ 1b är det en extern part som samlar ihop och rensar granulatet från skräp, blad, grenar och annat, och sedan återför det till planen. Detta är en tjänst som Botkyrka kommun betalar den externa parten för.

Alternativ 2a

För alternativ 2a är det driftspersonalen som samlar ihop och transporterar granulatet till närmsta avfallsstation. Totala kostnaden för detta arbete beräknades genom att multiplicera kostnaden för driftspersonalen/timme med tiden samt antalet arbetare som krävs. Den externa parten tillför nytillverkat granulat till planen, vilket Botkyrka kommun betalar den externa parten för. Priset för denna tjänst presenteras i avsnitt 4.2.1.

Det tillkommer ytterligare en kostnad för alternativ 2a, nämligen priset för det nytillverkade granulatet som tillförs planen. På Brantbrinks IP och Brunna IP används som tidigare nämnt R-EPDM-granulat. Priset för detta granulat per ton multiplicerades med antalet ton granulat som spreds denna säsong samt en vanlig säsong.

Alternativ 2b

För alternativ 2b är det driftspersonalen som samlar ihop och transporterar granulatet till närmsta avfallsstation. Kostnaden för denna säongs mängd granulat samt mängden en vanlig säsong beräknades genom att multiplicera kostnaden/timme med antalet arbetstimmar och antalet arbetare.

3.3.3 Nyttan

Nyttan i projektets KNA är livslängden på konstgräsplanen. Respektive alternativ kommer ha en viss påverkan på hur snabbt konstgräsplanen slits och därmed dess livslängd. En konstgräsplan har ofta en viss livslängd, avskrivningstid. Om livslängden minskar till följd av något av alternativen ses det som en ekonomisk förlust. Ju mer sällan konstgräsplanen behöver bytas ut desto mindre kostnad för kommunen. Ett sådant alternativ bedöms därför som mer lönsamt än ett alternativ som skulle förkorta livslängden på konstgräsplanen.

I samtliga alternativ underhålls konstgräsplanen på samma sätt, närmare bestämt på bästa möjliga sätt för att konstgräsplanen ska hålla så länge som möjligt. Dessutom används planen lika många speltimmar av samma antal spelare. Den enda parametern som skiljer sig mellan de olika alternativen är hur granulatet som ligger kvar efter att snöhögarna smält hanteras.

3.3.4 Analys

Analysen delades upp i ett bästa fall och ett värsta fall. I bästa fall är lika med scenariot för denna säsong, det vill säga att konstgräsplanen snöröjdes två gånger och att denna säongs mängd granulat avlägsnades. Vid en mer normal vinter snöröjs Brantbrinks IP 15-20 gånger (Pers kom Jansson 2020b). Därför valdes antalet gånger planen snöröjdes i värsta fall till 20 gånger. Mängden granulat som följer med i värsta fall baserades på mängden granulat som följde med den undanröjda snön denna säsong. Antagandet som gjordes var att det vid första snöröjningen följer med samma mängd granulat som första gången denna säsong. Sedan gjordes antagandet att det resterande 19 snöröjningar medföljer lika mycket granulat som vid andra snöröjningen denna säsong. Antagandet är baserat på att som mest granulat följer med vid första snöröjningen, då det finns mer löst granulat i konstgräsplanen samt att granulatet inte har kompakterats av snöröjningsfordon från tidigare snöröjningar.

Det är svårt att avgöra hur många år en konstgräsplan tros hålla i de olika alternativen. Därför har ett spann på livslängden satts, där bästa fall innebär den längsta uppskattade livslängden för ett alternativ och värsta fall innebär kortaste uppskattade livslängden.

För analysen användes en tidsperiod på 20 år. Arbetet i samtliga alternativ utförs en gång per år efter att all undanröjd snö för säsongen smält undan helt. Därför multiplicerades kostnaderna för arbetet i respektive alternativ, både för bästa fall och värsta fall, med 20 år. Dessutom beräknades hur många gånger konstgräsplanen behöver bytas ut med de angivna livslängderna i bästa och värsta fall. Antalet gånger multiplicerades med kostnaden för att anlägga en ny konstgräsplan.

Kostnaden för att utföra arbetet en gång per år i 20 år samt kostnaden för att anlägga ny konstgräsplan det beräknade antalet gånger summerades för att få en totalkostnad för respektive alternativ i bästa och värsta fall.

I analysen arbetades ett beräkningsprogram fram i Excel. I programmet kan parametrar så som antalet arbetstimmar och arbetare, priset för rensning av granulat, mängden granulat som spridits samt priset för nytillverkat granulat ändras för att erhålla nya kostnader.

4 Resultat

4.1 Mätning

I detta avsnitt presenteras resultaten från de tre olika mätningarna.

4.1.1 Totalmätning

I tabell 5 presenteras resultaten från totalmätningen med den uppmätta mängden granulat som låg kvar efter de båda snöhögarna, den uppskattade mängden som inte skyfflades upp och vägdes utan låg kvar i konstgräsmattan, mängden granulat som togs hem för vägning och torkning för stickprovsmätningen (Medtagen 1) samt totalmätningen (Medtagen 2).

Tabell 5: Tabell som sammanfattar resultatet från totalmätningen. Enheten är kg.

Snöhög	Uppmätt	Uppskattad kvar	Medtagen 1	Medtagen 2	Totalt
1	169,4	42	1,73	0,294	213,4
2	16,4	25	1,91	0,292	43,6

Mängden granulat som transporterades från Brantbrinks IP till uppsamlingsplatsen via snöröjning denna säsong uppmättes till 257 kg.

4.1.2 Stickprovsmätning

I detta avsnitt presenteras resultatet för stickprovsmätningen, både med uppskattad volym snö i högarna, stickprovsmätning (a), samt den beräknade volymen, stickprovsmätning (b). Samtliga värden har avrundats till 3 värdesiffror.

Stickprovsmätning (a)

I tabell 6 presenteras resultatet från ekvation 15 för snöhög 1.

Tabell 6: Tabell för snöhög 1 med massa granulat per hink, uppskattade antalet hinkar, andel av snöhög där mängden granulat antogs vara samma samt den beräknade massan granulat per sektion av snöhög.

Hink	Massa granulat/hink	Antal hinkar	Andel av snöhög	Massa granulat sektion
1	0,23	100	1/6	3,87
2	1,11	100	1/3	36,9
3	0,09	100	1/6	1,50
4	0,11	100	1/6	1,75
5	0,20	100	1/6	3,25

I tabell 7 presenteras resultatet från ekvation 15 för snöhög 2.

Tabell 7: Tabell för snöhög 2 med massa granulat per hink, uppskattade antalet hinkar, andel av snöhög där mängden granulat antogs vara samma samt den beräknade massan granulat per sektion av snöhög.

Hink	Massa granulat/hink	Antal hinkar	Andel av snöhög	Massa granulat sektion
1	0,38	90	1/3	11,3
2	0,98	90	1/6	14,8
3	0,27	90	1/6	4,07
4	0,19	90	1/6	2,22
5	0,09	90	1/6	1,37

I tabell 8 presenteras mängden granulat som uppskattats för stickprovsmätningen med den uppskattade volymen snö i snöhögarna.

Tabell 8: Tabell med totala massan granulat i respektive snöhög.

Stickprov	Total massa granulat(kg)
1	47,3
2	34,3

Således var totala mängden granulat som transporterades från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen denna säsong 81,6 kg enligt stickprovsmätningarna med uppskattad volym för snöhögarna.

Stickprovsmätning (b)

I tabell 9 presenteras resultatet från ekvation 15 för snöhög 1.

Tabell 9: Tabell för snöhög 1 med massa granulat per hink, antalet hinkar, andel av snöhög där mängden granulat antogs vara samma samt den beräknade massan granulat per sektion av snöhög.

Hink	Massa granulat/hink	Antal hinkar	Andel av snöhög	Massa granulat sektion
1	0,23	633,6	1/6	24,5
2	1,11	633,6	1/3	234
3	0,09	633,6	1/6	9,50
4	0,11	633,6	1/6	11,1
5	0,20	633,6	1/6	20,6

I tabell 10 presenteras resultatet från ekvation 8 för snöhög 2.

Tabell 10: Tabell för snöhög 2 med massa granulat per hink, antalet hinkar, andel av snöhög där mängden granulat antogs vara samma samt den beräknade massan granulat per sektion av snöhög.

Hink	Massa granulat/hink	Antal hinkar	Andel av snöhög	Massa granulat sektion
1	0,38	563,2	1/3	70,4
2	0,98	563,2	1/6	92,4
3	0,27	563,2	1/6	25,4
4	0,19	563,2	1/6	17,6
5	0,09	563,2	1/6	8,6

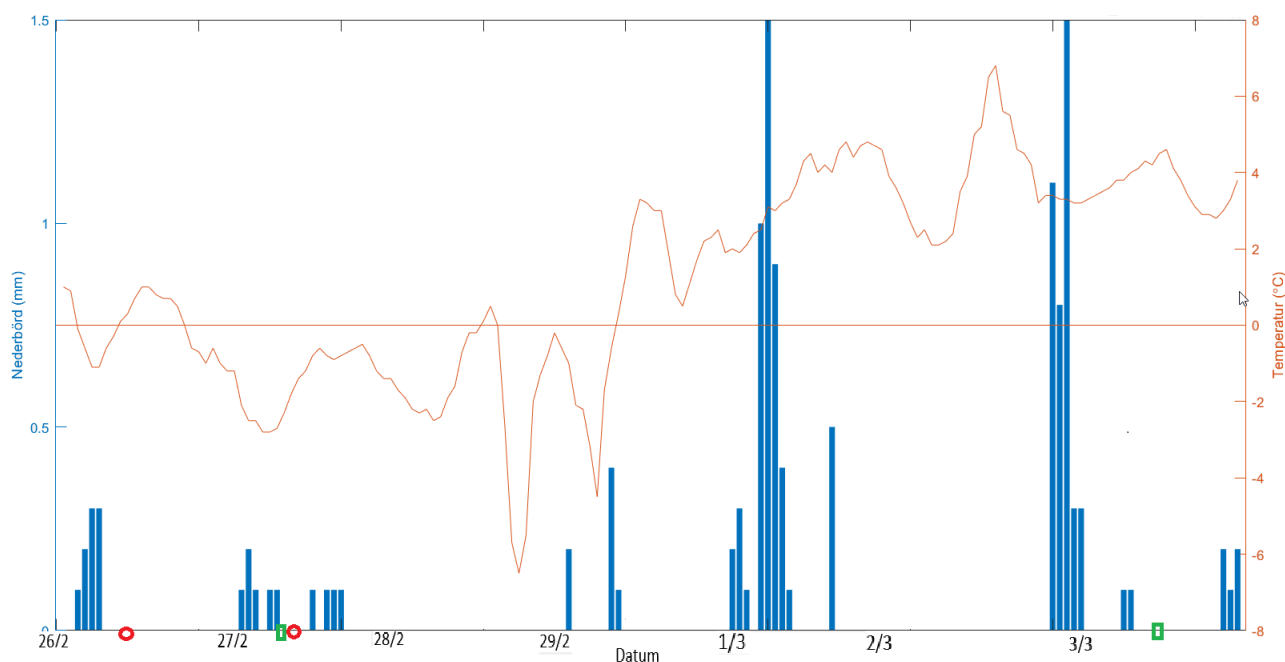
I tabell 11 presenteras mängden granulat som uppskattats för stickprovsmätningen med den beräknade volymen snö i snöhögarna.

Tabell 11: Tabell med totala massan granulat i respektive snöhög.

Stickprov	Total massa granulat(kg)
1	299,7
2	214,4

Således var totala mängden granulat som transporterades från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen denna säsong 514,1 kg enligt stickprovsmätningarna med beräknad volym på snöhögarna med nederbördsdata.

Timvisa temperatur- och nederbördsdatan som laddades ner från SMHI plottades mot tiden. Tiden var en vecka, från och med 26 februari då Brantbrink snöröjdes första gången till och med 3 mars när sista stickprovsmätningen gjordes. I figur 16 ses denna figur.



Figur 16: Graf med nederbörden och temperaturen under en veckas tid. De blåa staplarna är nederbörden i smält form och den röda kurvan är temperaturen. De röda cirkelarna är tiden för de två snöröjningarna, de gröna fyrkanterna tiden för de två stickprovsmätningarna.

Innan första snöröjningstillfället föll 0,9 mm nederbörd (se blåa nederbördsstaplar 26/2 innan första röda cirkeln i figur 16). Denna nederbörd föll som snö då det var minusgrader när nederbörden föll. Innan andra snöröjningstillfället föll 0,8 mm nederbörd (se blåa nederbördsstaplar 27/2 innan andra röda cirkeln i figur 16). Denna nederbörd föll som snö då det var minusgrader när nederbörden föll.

Mellan andra snöröjningstillfället (andra röda cirkeln i figur 16) och andra mätningstillfället (andra gröna fyrkanten i figur 16) var det från och med 29/2 till och med 3/3 plusgrader. Under dessa dagar har således snöhög 2 smält och dess volym har därmed minskat. Under samma dagar har det även fallit nederbörd, vilken har fallit som regn på grund av plusgrader. Regnet som fallit på snöhög 2 har påskyndat snösmältningen ytterligare.

4.1.3 Kompakteringsmätning

I tabell 12 visas resultatet från kompakteringsmätningen (ekvation 17, 18 och 19). Parametrarna i tabellen är granulathöjd innan och efter (h_1 , h_2), höjdskillnaden (h), volymen granulat (v), bulkdensiteten för R-EPDM-granulat (ρ_b), en teoretisk massa granulat (m) som avlägsnats från de båda planerna beräknades med höjdskillnaden i granulat. Alla värden har avrundats till 3 värdesiffror.

Tabell 12: Tabell med resultatet från kompakteringsmätningen.

Parameter	Brantbrinks IP	Brunna IP
$h_1(mm)$	29,5	29,9
$h_2(mm)$	29,1	29,7
$h(mm)$	0,40	0,20
$v(m^3)$	2,83	1,40
$\rho_b(kg/m^3)$	500	500
$m(kg)$	1408	704

Brunna IP, som inte snöröjdes under projektet, användes som referens. Höjdskillnaden i Brunna var 0,2 mm och är således inte en följd av snöröjning. I Brantbrinks IP var höjdskillnaden 0,4 mm med två snöröjningar under projektets gång. Därför gjordes antagandet att en höjdskillnad på 0,2 mm är en följd av att Brantbrink snöröjdes. Massan granulat för denna höjdskillnad är således 704 kg.

4.1.4 Sammanställning spridd granulat

I tabell 13 visas massan granulat från Brantbrinks IP som uppmäts med de tre olika mätmetoderna.

Tabell 13: Tabell med massan granulat som uppmäts spridas med de tre olika mätmetoderna.

Mätmetod	Massa granulat (kg)
Totalmätning	257
Stickprovsmätning (a)	81,6
Stickprovsmätning (b)	514,1
Kompakteringsmätning	704

4.2 Kostnad-nyttoanalys

Nedan presenteras resultaten från KNA.

4.2.1 Kostnad

Enligt totalmätningen var mängden granulat som avlägsnats från konstgräsplanen denna säsong ungefär 257 kg fördelat på två snöröjningstillfällen. Detta scenario bedömdes vara i bästa fall i KNA. En mer normal säsong med mer snöfall än denna snöröjs Brantbrinks IP 15-20 gånger (Pers kom Jansson 2020b). I denna KNA användes 20 snöröjningstillfällen som ett värsta fall. För att erhålla hur mycket granulat som uppskattningsvis kan spridas en säsong då det faller mer snö än denna säsong gjordes en uppskattning baserat på denna säsong. Denna säsong avlägsnades ca 200 kg vid första snöröjningen och ca 40 kg vid andra. Därför gjordes uppskattningen att det vid första snöröjningstillfället sprids 200 kg och vid resterand 19 snöröjningstillfällen sprids 40 kg per gång. Enligt denna beräkning sprids

960 kg granulat från konstgräsplanen via snöröjning (se Bilaga D). Mängderna 257 respektive 960 kg användes i uppskattningar och beräkningar av kostnader i de fyra alternativen.

Alternativ 1a

Driftspersonalen kostar 350 kr/timme (Pers kom Jansson 2020c). För den mängd granulat som avlägsnades från konstgräsplanen via snöröjning denna säsong tar det uppskattningsvis 6 timmar totalt att utföra detta arbete, med två arbetare första timmen som tar upp granulatet och en arbetare sista fem timmarna som återför granulatet till planen (Pers kom Nixon 2020a). Vid säsonger med mer normal mängd snö och därmed en normal mängd granulat tar arbetet uppskattningsvis 20 timmar totalt, med två arbetare första 3,5 timmarna som tar upp granulatet och en arbetare resterande 16,5 timmar som återför granulatet till planen (Pers kom Nixon 2020b). Kostnaden för arbetet beräknades till 2450 kr i bästa fall och 8225 kr i värsta fall.

Alternativ 1b

Kostnaden för att rensa granulat som ligger kvar på uppsamlingsplatsen efter att snöhögen smält samt att återföra det till planen uppgår till ungefär 35000 kr/rensningstillfälle. I detta pris ingår rensning av en mängd granulat på upp till 5 ton. Om det är mer granulat än så tillkommer en kostnad per ton granulat (Pers kom Cerna 2020d). Kostnaden för arbetet beräknades till 35 000 kr i både bästa och värsta fall.

Alternativ 2a

För den mängd granulat som avlägsnades från konstgräsplanen via snöröjning denna säsong tar det uppskattningsvis 6 timmar att utföra arbetet i alternativ 2a, med två arbetare första timmen som tar upp granulatet och en arbetare sista fem timmarna som kör och deponerar avfallet (Pers kom Nixon 2020a). För en mer normal mängd granulat tar det uppskattningsvis 10 timmar att utföra detta arbete, med två arbetare första 2 timmarna som tar upp granulatet och en arbetare sista 8 timmarna som kör och deponerar avfallet (Pers kom Nixon 2020b). Priset för att en extern part hämtar upp och kör nytillverkat granulat till planen, samt lägger ut det på planen, uppgår till ungefär 1000 kr/ton nytillverkat granulat som tillförs (Pers kom Cerna 2020d). R-EPDM-granulat kostar 15000 kr per ton (Pers kom Cerna 2020a). Kostnaden beräknades till 6562 kr i bästa fall och 19560 kr i värsta fall.

Alternativ 2b

Arbetet för alternativ 2b tar uppskattningsvis 6 timmar med denna säongs granulatmängd, med två arbetare första timmen som tar upp granulatet och en arbetare sista fem timmarna som kör och deponerar avfallet. För en mer normal mängd granulat tar det ca 10

timmar att utföra detta arbete, med två arbetare första 2 timmarna som tar upp granulatet och en arbetare sista 8 timmarna som kör och deponerar avfallet (Pers kom Nixon 2020b). Kostnaden beräknades till 2450 kr i bästa fall och 4200 kr i värsta fall.

4.2.2 Livslängd

För alternativ 1a, det vill säga återföring av granulat utan tvätt, uppskattas livslängden på konstgräsplanen bli 10-12 år (Pers kom Cerna 2020e). Samma livslängd uppskattas till alternativ 1b, det vill säga att granulatet först tvättas innan det återförs till konstgräsplanen (ibid.). Livslängden i bästa och värsta fall för både alternativ 1a och 1b sattes därför till 12 respektive 10 år.

För alternativ 2a, det vill säga tillförsel av nyttillverkat granulat, tros livslängden bli 10-12 år (ibid.). Därför sattes livslängden i bästa och värsta fall till 12 respektive 10 år. För alternativ 2b beror förändringen av livslängden på konstgräsplanen hur mycket granulat det är som avlägsnats från planen. För mängden granulat denna säsong bedöms planens livslängd vara uppskattningsvis 10 år. Med mängden för en mer normal vinter blir livslängden uppskattningsvis 6 år (Pers kom Cerna 2020f).

Att anlägga en konstgräsplan likt Brantbrink, det vill säga med samma typ av konstgräs, samma mängd och typ av granulat och liknande, skulle kosta mellan 2,5 och 3,5 miljoner (Pers kom Cerna 2020e). I detta projekt användes priset 3 miljoner kronor.

4.2.3 Analys

Samtliga beräkningar till analysen i KNA:n återfinns i Bilaga D.

I tabell 14 är de fyra alternativen listade med vem som utför arbetet samt vad arbetet kostar för mängden granulat som avlägsnades denna säsong (bästa fall) samt vad som avlägsnas en normal säsong (värsta fall). Bästa fall innebär som tidigare nämnt att planen snöröjs två gånger och att det avlägsnades 257 kg granulat. Värsta fall innebär att planen snöröjs 20 gånger och att det avlägsnades 960 kg granulat, med 200 kg första snöröjningen och 40 kg resterande 19 snöröjningar.

Tabell 14: Tabell med kostnaden för de olika alternativen per arbetstillfälle.

Alternativ	Vem som utför arbetet	Kostnad (bästa fall)	Kostnad (värsta fall)
1a	Botkyrka kommun	2450	8225
1b	Extern part	35000	35000
2a	Botkyrka kommun + extern part	6562	19560
2b	Botkyrka kommun	2450	4200

I tabell 15 är livslängden för de fyra olika alternativen i bästa och värsta fall listade. Bästa fall innebär den längsta livslängden som respektive alternativ uppskattningsvis ger. Värsta fall innebär den kortaste livslängden som respektive alternativ uppskattningsvis ger.

Tabell 15: Tabell med de olika alternativens livslängd i bästa och värsta fall.

Alternativ	Livslängd (bästa fall)	Livslängd (värsta fall)
1a	12	10
1b	12	10
2a	12	10
2b	10	6

Alternativ 2b, att avfallshantera granulatet och inte tillföra något nytt, är dyraste alternativet i både bästa och värsta fall på en tidsperiod av 20 år. Alternativ 1b, att rensa granulatet som avlägsnats och sedan återföra det till konstgräsplanen, är näst dyrast i båda scenarierna. Alternativ 2a, att avfallshantera granulatet som avlägsnats och tillföra nytillverkat granulat, är tredje dyrast i både bästa och värsta fall. Det billigaste alternativet i båda scenarierna är 1a, att återföra granulatet som avlägsnats utan att först rensa det. I tabell 16 redovisas totalkostnaden för de fyra olika alternativen under tidsperioden 20 år i bästa och värsta fall.

Tabell 16: Tabell med den totala kostnaden under 20 år för de fyra olika alternativen.

Alternativ	Total kostnad (bästa fall)	Total (värsta fall)
1a	3 049 000	6 164 500
1b	3 700 000	6 700 000
2a	3 131 240	6 391 200
2b	6 049 000	9 084 000

Den totala kostnaden dividerades med 20 år för att erhålla vad de olika alternativen innebär för årlig kostnad. Mellan det mest kostnadseffektiva alternativet, 1a, och det näst mest kostnadseffektiva alternativet, 2a, skiljer det 4112 kr per år. Mellan alternativ 1a och det tredje mest kostnadseffektiva alternativet, 2a, skiljer det 32 550 kr per år. I månadskostnad blir skillnaderna ca 343 respektive 2712 kr. I tabell 17 visas alternativens årliga kostnad i bästa och värsta fall.

Tabell 17: Den totala kostnaden per år i 20 år.

Alternativ	Bästa fall	Värsta fall
1a	152 450	308 225
1b	185 000	335 000
2a	156 562	319 560
2b	302 450	454 200

5 Diskussion

5.1 Resultat

Nedan diskuteras resultaten från de tre olika mätningarna samt resultatet från KNA.

5.1.1 Totalmätning

Totalmätningen gav resultatet att massan för granulatet som överfördes från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen för snö via snöröjning denna säsong var 257 kg. Examensarbetet av Regnell (2017) visade att uppskattningsvis 200-800 kg mikroplaster avlägsnas från konstgräsplaner via snöröjning per plan och år.

I projektet av Regnell (2019) erhöles som tidigare nämnt resultatet att 66 kg mikroplaster avlägsnades från planen som undersöktes på ett år. I denna mängd är spridning till följd av snöröjning inte inkluderad. Att 257 kg avlägsnades från Brantbrink till följd av två snöröjningar denna säsong, jämfört med 66 kg i Kalmar under ett år från andra källor än via snöröjning, innebär att en betydande mängd mikroplaster avlägsnas via snöröjning.

I snöhög 1 var massan 213,4 kg och 43,6 kg i snöhög 2. Att massan var större i snöhög 1 än snöhög 2 kan bero på att det vid första snöröjningstillfället fanns mer löst granulat i konstgräsplanen och därmed mer granulat som kunde följa med vid snöröjning. Vid andra snöröjningstillfället hade redan en mängd granulat avlägsnats från konstgräsplanen. Inför andra snöröjningen kan granulatet även ha packats av ovanliggande snö samt av snöröjningsmaskinen när den kördes över planen vid första snöröjningstillfället, då det är känt att konstgräsplaners granulat kompakteras när det utsätts för ovanliggande tryck (Pers kom Cerna 2020a; Fleming 2011). Detta kan också ha varit en anledning till att mindre granulat följde med vid andra snöröjningstillfället än vid första.

5.1.2 Stickprovsmätning

Den uppskattade volymen för snöhög 1 och snöhög 2, som togs fram genom att uppskatta antalet hinkar i snöhögarna, var 1 m^3 respektive 0,9 m^3 (se Bilaga E). Den beräknade volymen för snöhög 1 och snöhög 2, där nederbördsdata från SMHI användes, var 6,3 m^3 respektive 5,6 m^3 (se Bilaga E). Den uppskattade volymen var därmed mindre än de beräknade volymerna. I snöhög 1 var den uppskattade volymen ca 6,3 gånger mindre än den beräknade och i snöhög 2 ca 6,2 gånger mindre. Detta kan bero på att det är svårt att uppskatta volymen på en snöhög med enbart ögonen som mått. En annan faktor kan vara att båda snöhögarna smält en del till följd av plusgrader innan stickprovsmätningen gjordes (se figur 16), och därmed innan uppskattningen av snöhögarnas storlek gjordes. Därför baserades uppskattningen på hur stora snöhögarna var vid stickprovstillfället och inte direkt efter snöröjningen. En del av nederbörden som föll innan respektive snöröjning kan ha fallit som regn och inte som snö (se figur 16). Detta gör att beräkningen av volymen snö som låg på konstgräsplanen vid varje snöröjningstillfälle påverkas i den mening

att beräkningen ger större mängd snö. Om regn fallit på snöhögarna innan mätningarna gjordes har detta påskyndat smältningen ytterligare.

Det är även möjligt att snön har packats ihop när den röjts undan på grund av ovanliggande tryck från snöröjningsmaskinen. Dessutom kan snön ha packats när den legat i högarna. Detta till följd av ovanliggande snö som gör att snön i botten av högarna trycks ihop. Även vind och solljus kan leda till att snö packas (Laurin 2010). Packningen av snön vid snöröjning eller i snöhögarna leder till att volymen blir mindre än den beräknade volymen med nederbördsdatan från SMHI.

5.1.3 Kompakteringsmätning

Kompakteringsmätningarna visade att den genomsnittliga skillnaden i granulathöjd innan och efter snöröjning för Brantbrinks IP var 0,4 mm, vilket motsvarar en teoretisk massa granulat på 1408 kg. För Brunna IP visade samma mätningar en genomsnittlig höjdskillnad på 0,2 mm, vilket motsvarar en teoretisk massa granulat på 704 kg. Att granulathöjden i Brantbrink minskade mer än i Brunna kan bero på att Brantbrinks IP snöröjdes två gånger mellan före- och eftermätningen och Brunna IP ingen gång. Därmed avlägsnades granulat från Brantbrink via snöröjning och höjden på granulatet minskade mer. Att det blev en höjdskillnad i Brunna IP trots att planen inte snöröjdes kan vara en följd av att konstgräsplanens granulat kompakterats vid användning av planen (Pers kom Cerna 2020a; Fleming 2011). Även andra källor till att granulat avlägsnas från konstgräsplanen, så som via spelares skor och kläder (Naturvårdsverket 2020a; Regnell 2017; Regnell 2019), kan ge upphov till att Brunnas granulathöjd minskat trots att den inte har snöröjts.

I projektet av Regnell (2019) erhöles resultatet att 66 kg mikroplaster spreds på ett år från konstgräsplanen som undersöktes. Källan snöröjning var inte inkluderad utan denna mängd spreds av andra orsaker. Med denna siffra kan uppskattningen att under tiden för detta projekt, ca 4 månader, har det spridits ca 30 kg granulat av andra orsaker än snöröjning på Brantbrinks IP. Via snöröjning avlägsnades 257 kg från Brantbrinks IP, vilket gör att mindre än 300 kg granulat avlägsnats från planen till följd av snöröjning och andra spridningskällor. Den teoretiska mängden granulat baserat på höjdskillnaden på 0,4 mm på Brantbrinks IP var 1408 kg. Detta visar på att den största anledningen till höjdskillnaden är kompaktering av granulatet.

5.1.4 Jämförelse mellan totalmätningen och övriga mätningar

Totalmätningen visade att uppskattningsvis 257 kg granulat avlägsnades från konstgräsplanen via snöröjning. Massan granulat som spreds enligt stickprovsmätningarna var 81,4 kg med uppskattad volym och 514,1 kg med beräknad volym. Detta betyder att massan granulat med den uppskattade volymen på snöhögen gav ett mer likt resultat som totalmätningen. Den beräknade volymen snö gav en massa granulat som var dubbelt så stor som totalmätningen. Detta kan som tidigare nämnt bero på att den beräknade

volymen snö blev större än den verkliga volymen på grund av att en del av nederbörden som föll innan snöröjningarna var regn och inte snö (se figur 16). Dessutom behöver stickprovsmetoden utvecklas genom att testas mera.

Kompakteringsmätningen gav en viss höjdskillnad vilken användes för att räkna ut hur stor massa granulat en sådan höjdskillnad teoretiskt innebär. Denna massa beräknades till 704 kg, vilket är betydligt mer än totalmätningens 257 kg. Anledningen till detta är som tidigare nämnt att denna höjdskillnad inte enbart behöver bero på att granulat har avlägsnats från planen via snöröjning, utan även till följd av kompaktering eller andra spridningsvägar (Pers kom Cerna 2020a; Fleming 2011; Naturvårdsverket 2020a; Regnell 2017; Regnell 2019).

5.1.5 Kostnad-nyttoanalys

Resultaten från KNAn visade att det bästa alternativet under en tidsperiod på 20 år, i både bästa och värsta fall, är att återföra granulatet som avlägsnats via snöröjning, utan att först rengöra det. Detta på grund av att det årliga arbetet medför lägst kostnad i båda scenarierna och dessutom är alternativet ett av de där planen behöver bytas ut minst antal gånger under 20 år i båda scenarierna.

Alternativet att avfallshantera granulatet och tillföra nyttillverkat granulat var näst bäst. Alternativet hade näst högst årlig arbetskostnad, men däremot var alternativet ett av de som medförde att planen behöver bytas ut minst antal gånger.

Alternativet att rengöra granulatet som avlägsnats och sedan återföra det till planen var det tredje bästa alternativet. Alternativet innebär högst årlig arbetskostnad i båda scenarierna men var ett av de alternativen där planen behöver bytas ut minst antal gånger.

Alternativet att avfallshantera granulatet som avlägsnats och inte återföra något granulat var det sämsta alternativet. Alternativet innebär lägst årlig arbetskostnad i båda scenarierna men är det alternativet där konstgräsplanen behöver bytas ut flest antal gånger, vilket gör att det blir det dyraste alternativet.

I KNAn som utfördes i detta projekt uppskattades mängden granulat i bästa och värsta fall för de olika alternativen baserat på antalet snöröjningar. I bästa fall valdes antalet snöröjningar till två och i värsta fall valdes antalet snöröjningar till 20. Om ett annat antal snöröjningar väljs för bästa och värsta fall kan resultatet bli ett annat.

5.2 Potentiella felkällor och osäkerheter

Nedan diskuteras potentiella felkällor och identifierade svårigheter med projektet.

5.2.1 Totalmätning

Vid totalmätningen kunde inte allt granulat skyfflas upp utan en del var fast i konstgräsmattan. Därför gjordes en uppskattning av hur mycket granulat som låg kvar i mattan efter att granulatet skyfflats upp. Eftersom det var just en uppskattning är det möjligt att den uppskattade mängden skiljer sig från den verkliga mängden.

Det granulat som togs hem vid totalmätningen för torkning och vägning togs från toppen av respektive granulathög. Det är möjligt att granulatet på toppen av högarna är torrare på grund av solljus och vind än granulatet som ligger längre ned i högen. Detta gör att den beräknade viktprocenten möjligtvis är lägre än andra delar av snöhögen och därmed gör att den beräknade mängden torrt granulat i högarna blir högre än den verkliga mängden.

5.2.2 Stickprovsmätning

Det första stickprovet togs 27 februari 2020, vilket var dagen efter att snöröjningen gjordes. Från snöröjningstillfället till stickprovstillfället fortsatte det att snöa vilket gjorde att högen med undanröjd snö var täckt av ett lager fallen snö. Detta gjorde att högen kan ha innehållit snö som inte bara kom från snöröjningen. Dock kan snöhögen även ha smält och då minskar mängden snö istället. Sektionsindelningen av snöhögen försvårades när den var täckt av ett lager snö. Det blev då svårare att se granulatet i högen och därmed göra en bedömning hur stora sektionerna var.

Det andra stickprovet togs 3 mars, vilket var fem dagar efter att den andra snöröjningen gjordes. Under den tiden har snöhögen smält något till följd av plusgrader (se figur 16), vilket då lett till att mängden snö vid stickprovstillfället var mindre än den mängd snö som faktiskt röjdes undan.

Indelningen av sektioner i snöhögarna är grova uppskattningar som endast gjordes med ögonmått. Detta kan därmed lett till att mängden granulat i snöhögen missbedömts. Dessutom uppskattades mängden hinkar som gick per snöhög, med andra ord är volymen för snöhögarna en uppskattning. Volymen beräknades även med nederbördsdata, men denna volym har minskat till följd av plusgrader (se figur 16) samt att snön kan ha packats (Laurin 2010). Detta gör att högarnas volym beräknade med nederbördsdata överskattades.

När smältvattnet i hinkarna hälldes genom granulutfällan fastnade en del av granulatet i granulutfällans filter. Det blev därmed svårt att få med allt granulat i proverna. Detta gör att proverna med granulat fick något lägre massa.

När proverna rensades på barr, grus med mera var det svårt att få bort allt som inte var granulat eller konstgrässtrån. Detta kan ha lett till att massan för proverna blev något högre än om man lyckats rensa bort allt.

Ur snöhög 1 torkades tre prover och ur snöhög 2 torkades två prover, och utifrån viktprocenten vatten dessa prover innehöll beräknades en genomsnittlig viktprocent vatten

som applicerades på de prov som inte torkades. Om alla prover hade torkats hade alla prover fått sin inbördes viktprocent och beräkningar hade gjorts utefter dessa värden. Detta hade lett till att massan för det torra granulatet hade blivit annorlunda.

5.2.3 Kompakteringsmätning

Som tidigare nämnt beror höjdskillnaden på granulatet i båda planerna inte enbart på att granulat har avlägsnats via snöröjning. Det är möjligt att höjdskillnaden beror på andra källor till spridning av mikroplast från konstgräsplaner, så som via spelares kläder och skor (Naturvårdsverket 2020a;Regnell 2017;Regnell 2019). Det är även tänkbart att planernas granulat har kompakteras på grund av användning av planerna (Pers kom Cerna 2020a;Fleming 2011), vilket i så fall också har inverkan på höjdskillnaden.

Höjdskillnaden 0,4 mm i Brantbrinks IP gav en teoretisk massa på 1408 kg granulat. Enligt totalmätningen spreds 257 kg granulat till följd av snöröjning från Brantbrinks IP denna säsong. Enligt mätningen utförd av Regnell (2019) spreds 66 kg granulat från konstgräsplanen i Kalmar till följd av andra spridningsvägar än via snöröjning under ett år. Detta innebär att höjdskillnaden på granulatet i Brantbrinks IP till största del beror på kompaktering av granulatet.

5.2.4 Kostnad-nyttoanalys

För att kunna utföra analysen har ett antal antaganden gjorts. Tidsåtgången för arbetet den interna driftspersonalen utför i alternativ 1a, 2a samt 2b är uppskattningar, samt hur många arbetare som krävs. Kostnaden för att en extern part i alternativ 1b samlar ihop, rensar och återför granulatet till planen är baserat på en vald rensningsmetod. Denna metod innebär att granulatet slungas i en maskin för att rensas på blad, kvistar och annat organiskt material och skräp. Det finns andra rensnings- och rengöringsmetoder som därmed innebär en annan kostnad. Brantbrinks konstgräsplan är som tidigare nämnt fylld med R-EPDM-granulat. Om samma analys görs för en konstgräsplan med annat ifyllnadsmaterial kommer det medföra en annan kostnad för nytillverkat granulat i alternativ 2a. Något annat som avgör kostnaden för alternativ 2a är hur mycket granulat som spridits och därmed behöver avfallshanteras och ersättas med nytillverkat granulat.

5.3 Framtida studier

Nedan diskuteras hur delar av projektet kan utvecklas inför framtida undersökningar.

5.3.1 Utveckling av totalmätning

När totalmätningen utfördes skyfflades granulatet som låg kvar efter att snöhögarna smält ner i hinkar och vägdes. Allt granulat kunde som tidigare nämnt inte skyfflas upp

på grund av att det fastnade i konstgräsmattan. Om denna mätning skulle göras igen kan en form av presenning läggas ut på uppsamlingsplatsen och den undanröjda snön kan läggas på denna presenning. Då elimineras problematiken kring att granulatet som ligger kvar efter att snöhögarna smält fastnar i konstgräsmattan.

5.3.2 Utveckling av stickprovsmetod

Metoden för stickprovsmätningen arbetades fram under projektet och hade som tidigare nämnt syftet att verifiera totalmätningen. Resultaten för totalmätningen och stickprovsmätningen skiljde sig åt. Det finns vissa delar i stickprovsmätningen som metod som kan ändras för att få ett mer tillförlitligt resultat om denna metod används någon annan gång i framtiden.

Tillfället då stickproven tas bör vara så tätt inpå snöröjningstillfället som möjligt. Då hinner inte snöhögens volym minska till följd av plusgrader eller regn, eller öka på grund av att mer snö faller på högen.

När det gäller volymen på högarna med undanröjd snö kan metoden för att bestämma den modifieras. Det kan finnas osäkerheter i nederbördsdatan från SMHI:s mätstation i Tullinge, då den stationen ligger som tidigare nämnt ca 1,5 km från Brantbrinks IP. Dessutom har en del av den uppmätta nederbörden fallit som regn (se figur 16), vilket då inte bidrar till någon snö på Brantbrinks konstgräsplan. Nederbörden skulle kunna mätas på plats vid konstgräsplanen för att erhålla hur mycket nederbörd som föll på platsen.

En alternativ metod för att beräkna volymen snö den undanröjda högen innehåller kan vara att mäta höjden på snön som ligger på planen precis innan den snöröjs. Denna uppmätta höjd multipliceras sedan med planens längd och bredd för att erhålla volymen snö som ligger på planen och därmed hamnar i högen med undanröjd snö.

5.3.3 Livscykelanalys granulat

I en framtida studie vore det intressant att undersöka livslängden för olika typer av granulat samt dess miljöpåverkan under sin livslängd. För att göra detta kan en livscykelanalys utföras. Som tidigare nämnt genomförde Johansson (2018) en livscykelanalys för fyra olika typer av ifyllnadsmaterial. I Johanssons undersökning (2018) var R-EPDM-granulat inte inkluderat. Därför vore det intressant att i en framtida studie utföra en livscykelanalys för detta granulat. Resultatet för livscykelanalysen för R-EPDM-granulat kan jämföras med resultaten för studien av Johansson (2018).

5.3.4 Mikroplastspridning till omgivningen

I detta projekt undersöktes överföringen av mikroplaster från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen för undanröjd snö. Mikroplastspridning från anläggningen till omgivning-

en undersöktes således inte. Som tidigare nämnt har mikroplastspridning från konstgräsplaner till omgivningen via snöröjning inte undersökts tidigare. Denna studie kan ses som ett första steg för att få en bild av hur mycket mikroplaster som kan överföras från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen, för att vidare undersöka hur mycket av dessa mikroplaster som potentiellt kan spridas till omgivningen. Därför vore det intressant att i en framtida studie kvantifiera mängden mikroplaster som sprids från anläggningen till miljön till följd av snöröjning.

När snöhögarna med undanröjd snö smälter ligger mikroplaster som har följt med snön kvar på uppsamlingsplatsen. Att det ansamlas mikroplaster på uppsamlingsplatsen kan utgöra en ökad risk för spridning till miljön. Exempelvis vid kraftigt regnfall kan mikroplasterna som ligger på uppsamlingsplatsen transporteras till dagvattenbrunnar. För att undersöka hur mycket som sprids från uppsamlingsplatsen till dagvattenbrunnar kan granulatfällor sättas i dagvattenbrunnarna runt uppsamlingsplatsen. Granulatfällorna fångar upp mikroplasterna och på så sätt kan den mängden mikroplaster som potentiellt kan spridas till omgivningen till följd av snöröjning kvantifieras. I detta projekt användes en granulatfälla som fångar upp partiklar större än $200\text{ }\mu\text{m}$. I en framtida studie kan det vara av intresse att undersöka partiklar mindre än $200\text{ }\mu\text{m}$ då dessa, till följd av sin mindre storlek, kan antas vara mer mobila i miljön.

Dessutom är det möjligt att mikroplaster sprids till omgivningen via snöröjningsfordon. När fordonen körs över konstgräsplanen kan granulat och konstgrässtrån fastna på fordonet och om detta fordon lämnar anläggningen kan dessa mikroplaster spridas till omgivningen (Regnell 2019). För att kvantifiera denna mängd mikroplaster kan fordonen borstas av för att väga mikroplasterna som fastnat.

5.3.5 Miljöperspektiv hanteringsmetoder av granulat som överförts till uppsamlingsplatsen

En begränsning i detta examensarbete är som tidigare nämnt att miljöpåverkan från den avlägsnade mikroplasten inte utreddes. Dock kan det för framtida studier vara intressant att undersöka vad de fyra alternativen i KNAn har för miljöpåverkan.

Utöver att de fyra alternativen som undersöktes i KNAn innebär en viss kostnad och nytta kommer de alla ha en viss miljöpåverkan. Exempel på miljöaspekter som kan påverkas av de olika alternativen är enligt nedan:

Spridning av mikroplaster

Spridning av mikroplaster avser i detta fall spridning av granulat till omgivningen, det vill säga granulat som sprids utanför idrottsanläggningen. Spridning av granulat kan ske vid transport av granulat, som exempelvis när granulat transporteras från konstgräsplanen till avfallsstationen. Dessutom avser mikroplaster de som uppstår vid slitage av konstgräsplanen. Slitage sker kontinuerligt när konstgräsplanen används, men i detta fall avser slitage att planen har en låg granulathöjd och därmed slits snabbare. Detta kan medföra

att mikroplastern från det slitna gräset sprids till omgivningen.

Det är även möjligt att granulat som ansamlas och ligger kvar på uppsamlingsplatsen kan spridas till miljön, exempelvis vid kraftigt regnfall. Granulat som ansamlats på uppsamlingsplatsen kan anses mer mobilt än granulat som ligger i konstgräsplanen, och därmed ökar risken för spridning av mikroplaster till omgivningen om mikroplaster överförs från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen.

Utsläpp

Med utsläpp menas i detta fall utsläpp av växthusgaser. Denna typ av utsläpp kan ske vid tillverkning av nytt granulat, vid användning av rengöringsmaskinen, vid avfallshanteringen eller vid de transporter som måste göras för de olika alternativen, exempelvis transport till och från avfallsstationen.

Alternativens miljöpåverkan

Alternativ 1a ger inte upphov till någon av miljöaspekterna. Granulatet återförs till planen, vilket innebär att inget granulat sprids till omgivningen samt att slitaget av konstgräsplanen inte ökar på grund av lägre mängd granulat i konstgräsplanen. Alternativ 1a ger heller inget upphov till några utsläpp.

Alternativ 1b ger liksom alternativ 1a inte upphov till spridning av granulat eller ökat slitage av konstgräsplanen. Alternativ 1b ger dock upphov till eventuella utsläpp från rengöringsmaskinen samt utsläpp vid transport av maskinen från Unisport till planen och tillbaka.

Alternativ 2a ger upphov till eventuell spridning av granulat när det transporteras till avfallshanteringen. Det ger inte upphov till ökat slitage av konstgräsplanen då nytillverkat granulat tillförs planen. När det gäller utsläpp ger alternativ 2a upphov till utsläpp vid nytillverkning och avfallshantering av granulat samt transporter till och från granulatfabriken och avfallshanteringen.

Alternativ 2b ger upphov till eventuell spridning av granulat när det transporteras till avfallshanteringen. Det ger även upphov till att konstgräsplanen slits snabbare då inget granulat återförs till planen. När det gäller utsläpp ger alternativ 2b upphov till utsläpp vid avfallshantering av granulat samt transporten till och från avfallshanteringen.

För vidare analys av hanteringsmetoder för granulat som avlägsnats från en konstgräsplan via snöröjning kan miljöaspekten vägas in. En kvantifiering av mikroplaster som sprids till omgivningen i de olika alternativen kan göras. Dessutom kan utsläppen de olika alternativen medför beräknas för att kunna uppskatta alternativens miljöpåverkan. Fler miljöaspekter än de ovan nämnda kan analyseras och utredas djupare.

Särskilt intressant vore att jämföra miljöpåveran för alternativ 1b, att rensa och återföra granulat, med alternativ 2a, avfallshantera och tillföra nytt granulat. Alternativen resulterade i en totalkostnad under 20 år på 3 131 240 respektive 3 700 000 i bästa fall och 6 391 200 respektive 6 700 000 i värsta fall. KNAn resulterade således i att det är bättre ur ett kostnad-nyttoperspektiv att avfallshantera och tillföra nytttillverkat granulat än att rensa det som spridits och återföra det. Det är möjligt att resultatet blir omvänt om miljöaspekter även vägs in i analysen.

6 Slutsats

Mängden mikroplaster som avlägsnades via snöröjning från Brantbrinks IP våren 2020 uppmättes till 257 kg. Denna massa granulat erhöles med totalmätningen. Stickprovsmätningen och kompakteringsmätningen testades under projektet för att verifiera resultatet från totalmätningen. Dessa två metoder bedömdes inte vara exakta nog för att användas till kvantifiering av mikroplaster som sprids via snöröjning, utan behöver vidareutvecklas.

I detta projekt undersöktes överföring av mikroplaster från konstgräsplanen till uppsamlingsplatsen för snö. En slutsats som kan dras från projektet är att en betydande del av de mikroplaster som avlägsnas från konstgräsplaner är via snöröjning. Något som inte undersöktes var spridning av mikroplaster till omgivningen. Så länge mikroplasterna som överförs till uppsamlingsplatsen för snö inte sprids från idrottsplatsens område utgör de ingen ekologisk fara. Dock, som tidigare nämnt, ökar risken för spridning till omgivning- en då mikroplaster ansamlas på uppsamlingsplatsen på grund av att granulatet är mer mobilt än när det ligger inbäddat i konstgräsplanen.

En annan slutsats är att om höjden av granulat i en konstgräsplan minskar beror denna minskning inte enbart på att granulat har spridits från planen via exempelvis snöröjning, spelares kläder och skor etcetera. Höjdminskningen är även till följd av att granulatet i planen har kompakterats. Detta projekt visade att största anledningen till höjdminskningen beror på kompaktering av granulatet.

Ur projektets KNA kan slutsatsen dras att granulat som spridits från en konstgräsplan via snöröjning bör återföras till planen, utan rengöring, då detta är det mest kostnadseffektiva alternativet. Om återföring av granulat utan rengöring inte är möjligt på grund av att granulatet innehåller kvistar och annat organiskt material och skräp finns de övriga alternativen att välja mellan. Det mest kostnadseffektiva alternativet av de andra alternativen är att avfallshantera granulatet och tillföra nytillverkat granulat. Att rengöra granulatet som spridits och sedan återföra det till planen är det tredje mest kostnadseffektiva alternativet och det minst kostnadseffektiva alternativet är att avfallshantera granulatet och inte tillföra något nytt granulat. Om granulatet rengörs och återförs till planen, istället för att avfallshanteras och att nytillverkat granulat tillförs, innebär det en kostnad som är ca 25 000 kr högre per år. Om miljöaspekter vägs in i valet av hanteringsmetod är det möjligt att andra alternativ anses mer lämpliga totalt sätt. Detta har inte ingått i denna studie, men bör undersökas framöver för ge planägare bästa möjliga beslutsunderlag baserat på alla hållbarhetsaspekter.

Vidare studier bör undersöka miljöpåverkan för de olika hanteringsmetoderna av spritt granulat. Även olika mätmetoder för kvantifiering av granulat som sprids från konstgräsplaner via snöröjning, såsom stickprovsmetoden, bör förfinas för att framöver kunna appliceras. Dessutom kan mikroplastspridningen från konstgräsplaner till omgivningen till följd av snöröjning undersökas.

Referenser

- Anderson, A., Andrady, A., Arthur, C., Baker, J., Bouwman, H., Gall, S., Hidalgo-Ruz, V., Köhler, A., Lavender Law, K., Leslie, H., Kershaw, P., Pahl, S., Potemra, J., Ryan, P., Joon Shim, W., Thompson, R., Takada, H., Turra, A., Vethaak, D. & Wyles, K., utg. (2015). *Sources, fate and effects of microplastics in the marine environment: a global assessment*. London, UK: International Maritime Organization, ISSN: 1020-4873.
- Barboza, L. G. A., Vethaak, A. D., Lavorante, B. R., Lundebye, A.-K. & Guilhermino, L. (2018). Marine microplastic debris: An emerging issue for food security, food safety and human health, 336–348. doi: 10.1016/j.marpolbul.2018.05.047.
- Essel, R., Engel, L., Carus, M. & Ahrens, D. R. H., utg. (2015). *Sources of microplastics relevant to marine protection in Germany*. Federal Environmental Agency (Germany). Rapportnr: (UBA-FB) 002147/E. ISSN: 1862-4804.
- Fleming, P. (2011). Artificial turf systems for sport surfaces: current knowledge and research needs. 43-63. doi: 10.1177/1754337111401688.
- Johansson, K. (2018). Life cycle assessment of two end-of-life tyre applications: artificial turfs and asphalt rubber. URL: https://www.ragnsellstyrecycling.com/globalassets/tyre-company/dokument/lca-konstgrasplaner-gummiastfalt-version-1.4_2018_rs.pdf. Hämtad 2020-06-02.
- Jönsson, R. (2016). Mikroplast i dagvatten och spillvatten. Examensarbete. ISSN: 1401-5765.
- Kirby, A. & Spells, S. J. (2006). Spatial characterisation of natural and third-generation artificial turf football pitches. Sports Engineering, 59-64. doi: 10.1007/BF02844263. ISSN: 1369-7072, 1460-2687.
- Kärrman, A., Schönlau, C. & Engwall, M., utg. (2016). *Exposure and Effects of Microplastics on Wildlife*. Örebro Universitet: MTM Research Centre.
- Lassen, C., Hansen, S. F., Magnusson, K., Hartmann, N. B., Rehne Jensen, P., Nielsen, T. G. & Brinch, A., utg. (2015). *Microplastics - Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark*. Köpenhamn, Danmark: The Danish Environmental Protection Agency. ISBN: 978-87-93352-80-3.
- Laurin, S. (2010). Snö som packas ihop. URL: <https://www.vlt.se/artikel/sno-som-packas-ihop>. Hämtad 2020-05-20.
- Layard, P. R. G. & Glaister, S., utg. (1994). *Cost-benefit analysis*. 2nd ed. Cambridge [England] ; New York, NY, USA: Cambridge University Press. 497 s.
- Magnusson, K., Eliasson, K., Fråne, A., Haikonen, K., Hultén, J., Olshammar, M., Stadmark, J. & Voisin, A., utg. (2017). *Swedish sources and pathways for microplastics to the marine environment*. IVL Svenska Miljöinstitutet, rapportnr: C 183.
- Magnusson, S., utg. (2015). *Systemanalys av konstgräsplaner: miljö- och kostnadsaspekter*. Luleå: Institutionen för Samhällsbyggnad och Naturresurser, Luleå Tekniska Universitet. ISBN: 978-91-7583-501-3.
- McLaren, N., Fleming, P. & Forrester, S. (2012). Artificial grass: A conceptual model for degradation in performance. Procedia Engineering, 831–836, doi: 10.1016/j.proeng.2012.04.142.
- Morét-Ferguson, S., Lavender Law, K., Proskurowski, G., Murphy, E. K., Peacock, E. E. & Reddy, C. M. (2010). The size, mass, and composition of plastic debris in the western North Atlantic Ocean, 1873–1878. doi: 10.1016/j.marpolbul.2010.07.020.
- Naturvårdsverket (2020a). Konstgräsplaners miljöpåverkan. Naturvårdsverket. URL: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Plast-och-mikroplast/Konstgrasplaner/Konstgrasplaners-miljopaverkan/>. Hämtad 2020-02-03.
- Naturvårdsverket (2020b). Vägledning konstgräsplaner. Naturvårdsverket. URL: <http://www.naturvardsverket.se/Stod-i-miljoarbetet/Vagledningar/Plast-och-mikroplast/Konstgrasplaner/>. Hämtad 2020-02-03.
- Pers kom Cerna, C. (25 febr. 2020a). Unisport Scandinavia AB. Personlig kontakt. *Frågor om konstgräsplaner och granulät*.
- Pers kom Cerna, C. (26 mars 2020b). Unisport Scandinavia AB. Kontakt via telefon. *Frågor om konstgräsplaner och granulät*.
- Pers kom Cerna, C. (21 jan. 2020c). Unisport Scandinavia AB. Personlig kontakt. *Frågor om konstgräsplaner och granulät*.
- Pers kom Cerna, C. (2 april 2020d). Unisport Scandinavia AB. Kontakt via telefon. *Frågor om konstgräsplaner och granulät*.

- Pers kom Cerna, C. (16 april 2020e). Unisport Scandinavia AB. Kontakt via telefon. *Frågor om konstgräsplaner och granulat*.
- Pers kom Cerna, C. (29 maj 2020f). Unisport Scandinavia AB. Kontakt via telefon. *Frågor om konstgräsplaner och granulat*.
- Pers kom Jansson, I. (12 mars 2020a). Enhetschef anläggningsdriften bad, idrott och motion, Botkyrka kommun. Kontakt via email. *Frågor om konstgräsplaner*.
- Pers kom Jansson, I. (23 april 2020b). Enhetschef anläggningsdriften bad, idrott och motion, Botkyrka kommun. Kontakt via email. *Frågor om konstgräsplaner*.
- Pers kom Jansson, I. (14 april 2020c). Enhetschef anläggningsdriften bad, idrott och motion, Botkyrka kommun. Kontakt via email. *Frågor om konstgräsplaner*.
- Pers kom Nixon, A. (16 april 2020a). Arbetsledare anläggningsdriften bad, idrott och motion, Botkyrka kommun. Kontakt via email. *Frågor om konstgräsplaner*.
- Pers kom Nixon, A. (22 april 2020b). Arbetsledare anläggningsdriften bad, idrott och motion, Botkyrka kommun. Kontakt via email. *Frågor om konstgräsplaner*.
- Regnell, F. (2017). Mikroplaster från konstgräsplaner. Examensarbete Kungliga Tekniska Högskolan - Industriell ekologi. TRITA-IM-EX 2017:11.
- Regnell, F., utg. (2019). *Mikroplastspridning från en modernt utformad konstgräsplan med skyddsåtgärder*. Ecoloop AB.
- Schofield, J. (1997). Cost-Benefit Analysis in Urban & Regional Planning. URL: https://books.google.se/books?hl=sv&lr=&id=HkZbDwAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT12&dq=cost-benefit+analysis+cba&ots=k-c4ctNmn6&sig=x6XFNDs8vZiqKQ0yPehJ_pchqe8&redir_esc=y#v=onepage&q=cost-benefit%20analysis%20cba&f=false. Hämtad 2020-03-05.
- SMHI (2020a). Ladda ner meteorologiska observationer — SMHI. URL: <https://www.smhi.se/data/meteorologi/ladda-ner-meteorologiska-observationer/#param=airtemperatureInstant,stations=all>. Hämtad 2020-02-27.
- SMHI (2020b). Hur mäts snödjup? — SMHI. URL: <https://www.smhi.se/kunskapsbanken/meteorologi/hur-mats-snodjup-1.27291>. Hämtad 2020-04-30.
- Svenska Fotbollsförbundet (2018). Rekommendationer för anläggning av konstgräsplaner. URL: <https://www.svenskfotboll.se/globalassets/dokumentdokumentblock/anlaggning/rekommendationer-for-anlaggning-av-konstgrasplaner.pdf>. Hämtad 2020-02-10.
- Trinh, Y. (2019). Förekomst av mikroplast i dagvatten. Examensarbete Uppsala universitet. UPTEC W 18042.
- Upplands-Bro kommun (u.å.). Minska spridningen av mikroplast från konstgräsplaner. URL: <https://www.upplands-bro.se/kultur--fritid/forening-lokalbokning/boka-lokal/idrottsplatser--fotbollshall/minska-spridningen-av-mikroplast-fran-konstgrasplaner.html>. Hämtad 2020-02-11.
- Wagner, M., Scherer, C., Alvarez-Muñoz, D., Brennholt, N., Bourrain, X., Buchinger, S., Fries, E., Grosbois, C., Klasmeier, J., Marti, T., Rodriguez-Mozaz, S., Urbatzka, R., Vethaak, A. D., Winther-Nielsen, M. & Reifferscheid, G. (2014). Microplastics in freshwater ecosystems: what we know and what we need to know. Environmental Sciences Europe. doi: 10.1186/s12302-014-0012-7. ISSN: 2190-4715.

A Bilaga: Totalmätning

Den totala mängden granulat i snöhög 1 blev:

$$169,4 + 42,4 + 1,73 + 0,294 \approx 213,8$$

På samma sätt blev mängden granulat i snöhög 2:

$$16,4 + 24,6 + 1,91 + 0,292 \approx 43,2$$

Total mängden granulat i de båda högarna blev då:

$$213,8 + 43,2 = 257$$

I tabell A.1 visas mätvärdena för totalmätningen av granulat i snöhög 1.

Hink nr	Vikt hink (kg)	Vikt hink+granulat (kg)	Vikt granulat (kg)	Andel vatten	Vikt torrt granulat
1	0,269	4,4	4,131	0,006817763	4,102835821
2	0,274	4,4	4,126	0,006817763	4,09786991
3	0,273	4,6	4,327	0,006817763	4,297499539
4	0,274	4,6	4,326	0,006817763	4,296506357
5	0,273	4	3,727	0,006817763	3,701590197
					20,49630182
1	0,269	3,5	3,231	0,006817763	3,208971808
2	0,274	3,6	3,326	0,006817763	3,30332412
3	0,273	3,3	3,027	0,006817763	3,006362631
4	0,274	3,6	3,326	0,006817763	3,30332412
5	0,273	3,3	3,027	0,006817763	3,006362631
					15,82834531
1	0,269	3,9	3,631	0,006817763	3,606244702
2	0,274	3,7	3,426	0,006817763	3,402642344
3	0,273	3,4	3,127	0,006817763	3,105680855
4	0,274	4,2	3,926	0,006817763	3,899233462
5	0,273	3,7	3,427	0,006817763	3,403635526
					17,41743689
1	0,269	4,3	4,031	0,006817763	4,003517597
2	0,274	3,9	3,626	0,006817763	3,601278791
3	0,273	4,5	4,227	0,006817763	4,198181316
4	0,274	4,3	4,026	0,006817763	3,998551686
5	0,273	3,9	3,627	0,006817763	3,602271973
					19,40380136
1	0,269	3,9	3,631	0,006817763	3,606244702
2	0,274	3,6	3,326	0,006817763	3,30332412
3	0,273	3,9	3,627	0,006817763	3,602271973
4	0,274	3	2,726	0,006817763	2,707414778
5	0,273	3,4	3,127	0,006817763	3,105680855
					16,32493643

1	0,269	3,4	3,131	0,006817763	3,109653584
2	0,274	3,4	3,126	0,006817763	3,104687673
3	0,273	3,4	3,127	0,006817763	3,105680855
4	0,274	3,4	3,126	0,006817763	3,104687673
5	0,273	3,4	3,127	0,006817763	3,105680855
					15,53039064
1	0,269	3,3	3,031	0,006817763	3,01033536
2	0,274	3,3	3,026	0,006817763	3,005369449
3	0,273	3,3	3,027	0,006817763	3,006362631
4	0,274	3,3	3,026	0,006817763	3,005369449
5	0,273	3,5	3,227	0,006817763	3,204999079
					15,23243597
1	0,269	4,3	4,031	0,006817763	4,003517597
2	0,274	4,3	4,026	0,006817763	3,998551686
3	0,273	3	2,727	0,006817763	2,70840796
4	0,274	3,4	3,126	0,006817763	3,104687673
5	0,273	3	2,727	0,006817763	2,70840796
					16,52357288
1	0,269	3,5	3,231	0,006817763	3,208971808
2	0,274	3,5	3,226	0,006817763	3,204005896
3	0,273	3,5	3,227	0,006817763	3,204999079
4	0,274	3,5	3,226	0,006817763	3,204005896
5	0,273	3,5	3,227	0,006817763	3,204999079
					16,02698176
1	0,269	3,5	3,231	0,006817763	3,208971808
2	0,274	3,5	3,226	0,006817763	3,204005896
3	0,273	3,8	3,527	0,006817763	3,50295375
4	0,274	3,8	3,526	0,006817763	3,501960568
5	0,273	3,5	3,227	0,006817763	3,204999079
					16,6228911

Figur A.1: Tabell med värden från totalmätningen i snöhög 1.

I figur A.2 visas mätvärdena för totalmätningen av granulat i snöhög 2.

STICKPROV 2					
Hink nr	Vikt hink (kg)	Vikt hink+granulat (kg)	Vikt granulat (kg)	Andel vatten	Vikt torrt granulat
1	0,269	3,5	3,231	0,003378378	3,220084459
2	0,274	3,5	3,226	0,003378378	3,215101351
3	0,273	3,8	3,527	0,003378378	3,515084459
4	0,274	3,5	3,226	0,003378378	3,215101351
5	0,273	3,5	3,227	0,003378378	3,216097973
					16,38146959

Figur A.2: Tabell med värden från totalmätningen i snöhög 2.

I figur A.3 visas mätvärden från torkningen och vägningen av granulatet från totalmätningen.

Snöhög 1							
Prov	Vikt ugnform (kg)	Totalvikt innan (form+granulat) (kg)	Vikt innan granulat (kg)	Totalvikt efter (form+granulat)	Vikt efter granulat (kg)	Vikt vatten (kg)	Procent vatten
1	1,172	1,306	0,134	1,305	0,133	0,001	0,007462687
2	1,172	1,334	0,162	1,333	0,161	0,001	0,00617284
				Tot:	0,294	Medel:	0,006817763
Snöhög 2							
Prov	Vikt ugnform	Totalvikt innan (form+granulat) (kg)	Vikt innan granulat (kg)	Totalvikt efter (form+granulat)	Vikt efter granulat (kg)	Vikt vatten (kg)	Procent vatten
1	1,172	1,32	0,148	1,319	0,147	0,001	0,006756757
2	1,172	1,317	0,145	1,317	0,145	0	0
				Tot:	0,292	Medel:	0,003378378

Figur A.3: Tabell med värden från torkning och vägning av granulat från totalmätningen.

I figur A.4 visas beräkningen av den totala mängden granulat. Mängden som vägdes, som uppskattningsvis låg kvar samt mängderna från torkning och vägning summerades för att få totala massan granulat i de båda snöhögarna.

Total vikt totalmätning	Uppskattad mängd låg kvar	Vikt torrt granulat stickprov	Vikt torrt granulat totmät	Total mängd granulat (kg)
169,4070942	42,35177354	1,729854834	0,294	213,7827225
16,38146959	24,57220439	1,909437712	0,292	43,1551117

Figur A.4: Tabell med beräkning av totala mängden granulat i de båda snöhögarna.

B Bilaga: Stickprovsmätning

Figur B.1 visar vågen och ugnnsformen som användes vid torkning och vägning av stickproven.



(a) Vågen.



(b) Ugnnsformen.

Figur B.1: Material som användes vid torkning och vägning.

I figur B.2, B.3 och B.4 visas mätvärden för torkning och vägning av stickproven. De gulmarkerade proverna torkades och vägdes. Det grönmarkerade provet torkades och vägdes, samt är provet som nedanstående exempelberäkningar gjordes på. För proverna utan färgmarkering applicerades den genomsnittliga viktprocenten vatten.

Stickprov	Hink nr	Vikt ugnssäker form (kg)	Totalvikt innan (form+granulat) (kg)	Vikt innan granulat (kg)
1	1	1,172	1,451	0,279
1	2	1,172	-	1,701
1	3	1,172	1,313	0,141
1	4	1,172	1,33	0,158
1	5	1,172	-	0,299
2	1	1,172	1,674	0,502
2	2	1,172	-	1,294
2	3	1,172	1,522	0,35
2	4	1,172	-	0,247
2	5	1,172	-	0,12

Figur B.2: Tabell med vikt för ugnnsform, totalvikt för ugnform och blött granulat samt vikten för blött granulat.

Totalvikt efter (form+granulat) (kg)	Vikt efter granulat (kg)	Vikt vatten (kg)	Procent vatten
1,404	0,232	0,047	0,168458781
-	1,108078037	-	0,348572583
1,262	0,09	0,051	0,361702128
1,277	0,105	0,053	0,335443038
-	0,194776798	-	0,348572583
		Medel:	0,348572583
1,547	0,375	0,127	0,252988048
-	0,98427959	-	0,239351167
1,443	0,271	0,079	0,225714286
-	0,187880262	-	0,239351167
-	0,09127786	-	0,239351167
		Medel:	0,239351167

Figur B.3: Tabell med totalvikt för ugnform och torrt granulat, vikten för torrt granulat, vikten för vatten samt viktprocenten vatten för respektive prov och den genomsnittliga viktprocenten vatten.

Volym snö/hink (l)	Granulat/hink (kg/10 l)	Andel av snöhög	Antal hinkar hela snöhögen	Granulat i hög (kg)	Antal liter/snöhög	Massa granulat/l snö (kg/l)
10	0,232	0,166666667	100	3,866666667	1000	0,047298881
10	1,108078037	0,333333333	100	36,93593455	1000	
10	0,09	0,166666667	100	1,5	1000	
10	0,105	0,166666667	100	1,75	1000	
10	0,194776798	0,166666667	100	3,246279962	1000	
	1,729854834			47,29888118		
10	0,375	0,333333333	90	11,25	900	0,038073962
10	0,98427959	0,166666667	90	14,76419385	900	
10	0,271	0,166666667	90	4,065	900	
10	0,187880262	0,166666667	90	2,818203927	900	
10	0,09127786	0,166666667	90	1,3691679	900	
	1,909437712			34,26656568		

Figur B.4: Tabell med volym snö per hink, massan granulat per hink, sektionsandel, uppskattade antalet hinkar i snöhögen, beräknade mängden granulat i högarna, uppskattade antalet liter per snöhög samt massan granulat per liter snö.

Nedan följer en exempelberäkning för prov 3, snöhög 2:

Massa ugnform = 1,172 kg

Totalmassa ugnform & rensat blött granulat = 1,522 kg

Massa granulat innan torkning = totalmassa ugnform & blött granulat - massa ugnform:

$$1,522 - 1,172 = 0,350$$

Massan granulat i prov 3 innan torkning var således 0,350 kg.

Tabell 18: Tabell med massan för form och granulat vid varje vägning av prov 3, samt skillnaden i massa för form och granulat jämfört med föregående vägning.

Tid (min)	Massa form + granulat (kg)	Skillnad föregående vägning (g)
30	1,514	8
60	1,498	16
90	1,484	14
120	1,469	15
150	1,460	9
180	1,449	11
210	1,443	6
240	1,443	0

Totalmassa ugnform + torrt granulat = 1,443 kg

Massa torrt granulat = totalmassa ugnform & torrt granulat - massa ugnform:

$$1,443 - 1,172 = 0,271$$

Massan för torrt granulat i prov 3 var således 0,271 kg.

Massa vatten = massa blött granulat - massa torrt granulat:

$$0,350 - 0,271 = 0,079$$

Massan för vattnet i prov 3 var således 0,079 kg.

Andel vatten: massa vatten / massa blött granulat:

$$\frac{0,079}{0,350} \approx 0,226$$

Detta innebär att prov 3 innehöll ca 22,6 viktprocent vatten. Samma beräkningar som ovan gjordes för samtliga prover som torkades.

Ett medelvärde för viktprocenten vatten beräknades för snöhög 1 och 2. För snöhög 2 torkades 2 prover och viktprocenten för båda dessa prover var relativt lika. För att erhålla en genomsnittlig viktprocent vatten som kunde appliceras på de prover i snöhög 2 som inte torkades, beräknades medelvärdet av de 2 viktprocenten:

$$\frac{0,253 + 0,226}{2} = 0,239$$

Således applicerades viktprocenten 23,9 för vatten för de prov från snöhög 2 som inte torkades.

När det gäller snöhög 1 torkades 3 prover, istället för 2 som för snöhög 2. Detta var av anledningen att de första två proverna som torkades från snöhög 1 hade en viktprocent för vattnet som skiljde sig åt relativt kraftigt. Därmed torkades ett tredje prov från snöhög 1 och denna viktprocent vatten var relativt lik en av de andra provernas viktprocent. Därför beräknades ett medelvärde av de två prover vars viktprocent var lika:

$$\frac{0,362 + 0,335}{2} = 0,349$$

Således applicerades viktprocenten 34,9 för vatten för de prov från snöhög 1 som inte torkades.

De 5 prov som inte torkades, det vill säga 2 från snöhög 1 och 3 från snöhög 2, vägdes med vågen. Granulatproven låg i varsin 3-liters fryspåse och därför vägdes en tom påse först, vilken visade sig väga 4 gram. Provets vikter, det vill säga granulat + påsen det låg i, noterades och subtraherades med 4 gram vardera för att erhålla massan för endast granulatet. Nedan följer en exempelberäkning för ett icke-torkat prov; prov 5 från snöhög 1:

Massa granulat & påse = 0,303 kg

Massa påse = 4 g = 0,004 kg

Massa granulat innan torkning = massa granulat & påse - massa påse:

$$0,303 - 0,004 = 0,299$$

Granulatet i prov 5 beräknades således att väga 0,299 kg innan torkning.

För snöhög 1 var den beräknade viktprocenten 34,9 %. Därmed blev beräkningen för torrt granulat som följer:

$$0,299 - (0,299 \cdot 0,349) \approx 0,195$$

Det torra granulatet i prov 5 beräknades därmed väga 0,195 kg. Samma beräkning som ovan gjordes för samtliga prov som inte torkades.

Sedan beräknades massan granulat i respektive sektion av de båda snöhögarna. Nedan följer en exempelberäkning för prov 1, snöhög 1:

Massa granulat i hink = 0,232 kg

Andel av snöhög där mängden granulat uppskattades vara densamma = $1/6$

Uppskattat antal hinkar i hela snöhögen: 100 st hinkar

För att beräkna mängden granulat i denna sektion av snöhögen multiplicerades mängden granulat i hinken med antalet hinkar i hela snöhögen med sektionsandelen:

$$0,232 \cdot 100 \cdot \frac{1}{6} = 3,867$$

Detta betyder således att i denna sektion av snöhögen var det uppskattningsvis 3,867 kg granulat.

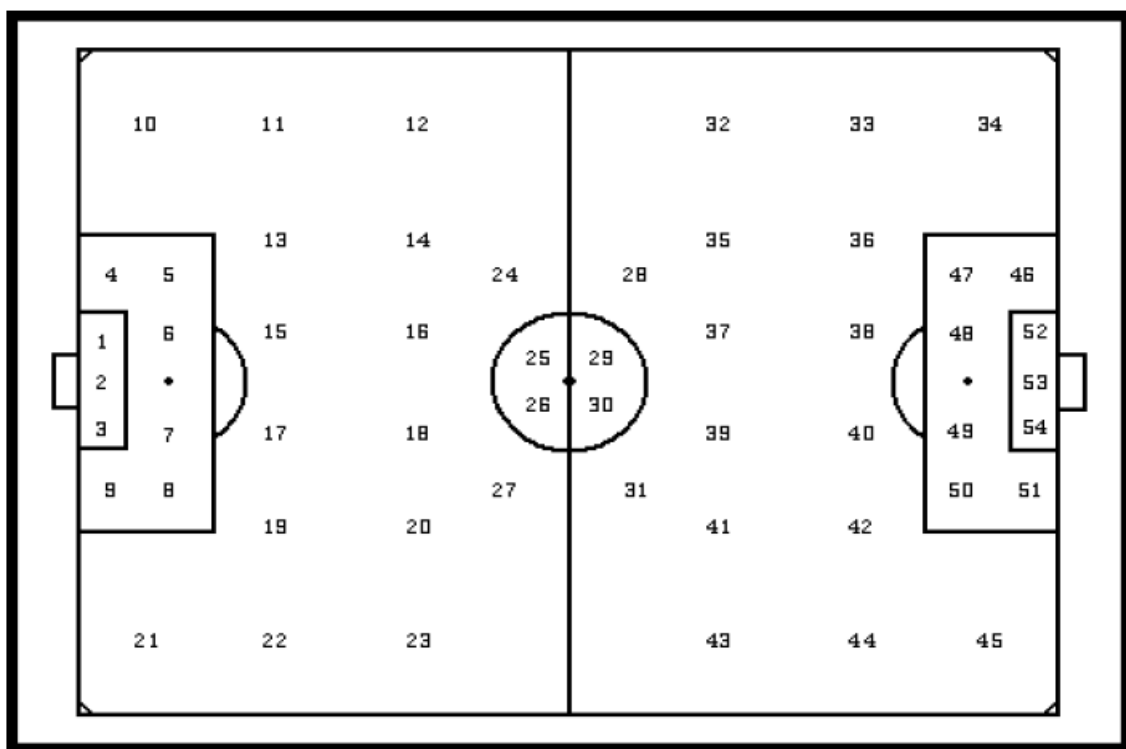
Därefter summerades alla sektioners granulatmassa för att erhålla den totala massan granulat i hela snöhögen. Exempelberäkning för snöhög 1:

$$3,867 + 36,936 + 1,500 + 1,750 + 3,246 \approx 47,299$$

Således var den uppskattade mängden granulat i hela snöhögen ca 47 kg. Samma beräkning gjordes för snöhög 2.

C Bilaga: Kompakteringsmätning

Figur C.1 visar fördelningen av mätpunkterna som granulathöjden mättes i på Brantbrinks IP och Brunna IP.



Figur C.1: Fördelning av mätpunkterna som granulathöjden mättes i.

Figur C.2, C.3, C.4 och C.5 visar granulathöjderna vid första mätningen (21 januari) och andra mätningen (6 maj) i mätpunkterna samt den genomsnittliga granulathöjden i planerna.

punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm
1	29	11	28	21	28	31	30	41	31	51	32
2	25	12	27	22	27	32	30	42	31	52	31
3	26	13	30	23	30	33	30	43	30	53	25
4	27	14	30	24	30	34	31	44	30	54	31
5	29	15	32	25	32	35	30	45	27		
6	29	16	32	26	31	36	29	46	29		
7	26	17	30	27	31	37	31	47	30		
8	26	18	31	28	31	38	30	48	31		
9	27	19	31	29	29	39	30	49	29	Summa	1594
10	27	20	32	30	30	40	32	50	31	Medel	29,5

Figur C.2: Mätvärden från Brantbrinks IP vid första mätningen.

punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm
1	28	11	27	21	29	31	31	41	31	51	30
2	26	12	27	22	27	32	30	42	31	52	29
3	25	13	29	23	30	33	29	43	30	53	25
4	28	14	29	24	29	34	29	44	29	54	31
5	28	15	31	25	31	35	29	45	27		
6	30	16	31	26	30	36	30	46	29		
7	26	17	29	27	31	37	31	47	29		
8	26	18	30	28	31	38	29	48	31		
9	28	19	30	29	30	39	29	49	30	Summa	1573
10	28	20	30	30	29	40	30	50	31	Medel	29,1

Figur C.3: Mätvärden från Brantbrinks IP vid andra mätningen.

punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm
1	29	11	31	21	30	31	30	41	30	51	30
2	27	12	30	22	28	32	30	42	31	52	29
3	31	13	32	23	30	33	31	43	30	53	27
4	31	14	29	24	31	34	30	44	29	54	29
5	31	15	29	25	31	35	30	45	29		
6	29	16	29	26	29	36	30	46	28		
7	29	17	29	27	30	37	31	47	30		
8	30	18	30	28	31	38	30	48	30		
9	31	19	31	29	30	39	31	49	30	Summa	1615
10	30	20	31	30	29	40	32	50	30	Medel	29,9

Figur C.4: Mätvärden från Brunna IP vid första mätningen.

punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm	punkt	mm
1	28	11	30	21	30	31	30	41	29	51	29
2	27	12	31	22	29	32	31	42	31	52	28
3	30	13	31	23	30	33	31	43	30	53	27
4	30	14	29	24	30	34	31	44	29	54	28
5	31	15	30	25	31	35	30	45	30		
6	29	16	29	26	29	36	29	46	28		
7	30	17	29	27	29	37	31	47	30		
8	29	18	29	28	30	38	30	48	30		
9	31	19	31	29	30	39	31	49	30	Summa	1603
10	30	20	30	30	29	40	30	50	29	Medel	29,7

Figur C.5: Mätvärden från Brunna IP vid andra mätningen.

Beräkningar för Brantbrinks IP

Höjdskillnad före och efter snöröjning (mm):

$$29,5 - 29,1 = 0,4$$

Volymen granulat (m^3):

$$0,0004 \cdot 64 \cdot 110 = 2,816$$

Massan granulat (kg):

$$2,816 \cdot 500 = 1408$$

Beräkningar för Brunna IP

Höjdskillnad före och efter snöröjning (mm):

$$29,9 - 29,7 = 0,2$$

Volymen granulat (m^3):

$$0,0002 \cdot 64 \cdot 110 = 1,408$$

Massan granulat (kg):

$$1,408 \cdot 500 = 704$$

I figur C.6 ses värden för beräkningarna för kompakteringsmätningarna.

Plan	Medelhöjd (mm)	Medelhöjd (m)	Bredd (m)	Längd (m)	Volym (m^3)	Densitet (kg/ m^3)	Massa (kg)	Massa (ton)
Brantbrink	0,4	0,0004	64	110	2,816	500	1408	1,408
Brunna	0,2	0,0002	64	110	1,408	500	704	0,704

Figur C.6: Tabell med genomsnittliga höjdskillnaden, volymen, densiteten och massan för granulatet i Brantbrink IP och Brunna IP.

D Bilaga: Beräkning kostnader KNA

Kostnad per år

Alternativ 1a:

Kostnaden/timme multiplicerades med antalet arbetsstimmar och antalet arbetare:

$$350 \cdot 1 \cdot 2 + 350 \cdot 5 \cdot 1 = 2450$$

$$350 \cdot 3,5 \cdot 2 + 350 \cdot 16,5 \cdot 1 = 8225$$

Alternativ 1b:

5000 kr/tvättningstillfälle

Alternativ 2a:

Kostnaden/timme multiplicerades med antalet arbetsstimmar och antalet arbetare:

$$350 \cdot 1 \cdot 2 + 350 \cdot 5 \cdot 1 = 2450$$

$$350 \cdot 2 \cdot 2 + 350 \cdot 8 \cdot 1 = 4200$$

Massan granulat som sprids i värsta fall beräknades genom att anta att vid säsongens första snöröjning medföljer 200 kg granulat, och att det vid resterande 19 snöröjningar medföljer 40 kg. Beräkningen blir enligt nedan:

$$200 + 40 \cdot 19 = 960$$

Kostnaden för upphämtning och utläggning av granulat av extern part multiplicerades med massan granulat i ton:

$$0,257 \cdot 1000 = 257$$

$$0,96 \cdot 1000 = 960$$

Kostnaden för granulat per ton multiplicerades med antalet ton:

$$0,257 \cdot 15000 = 3855$$

$$0,96 \cdot 15000 = 14400$$

Totalkostnad per år bästa fall:

$$2450 + 257 + 3855 = 6562$$

Totalkostnad per år värsta fall:

$$4200 + 960 + 14400 = 19560$$

Alternativ 2b:

Kostnaden/timme multiplicerades med antalet arbetsstimmar och antalet arbetare:

$$350 \cdot 1 \cdot 2 + 350 \cdot 5 \cdot 1 = 2450$$

$$350 \cdot 2 \cdot 2 + 350 \cdot 8 \cdot 1 = 4200$$

Total kostnad 20 år

Kostnaden per år för de fyra olika alternativen multiplicerades med 20 år. Denna siffra adderades med antalet gånger planen behöver bytas ut multiplicerat med kostnaden för en ny konstgräsplan.

Alternativ 1a:

$$20 \cdot 2450 + 1 \cdot 3000000 = 3049000$$

$$20 \cdot 8225 + 2 \cdot 3000000 = 61645000$$

Alternativ 1b:

$$20 \cdot 5000 + 1 \cdot 3000000 = 3100000$$

$$20 \cdot 5000 + 2 \cdot 3000000 = 61000000$$

Alternativ 2a:

$$20 \cdot 6562 + 1 \cdot 3000000 = 3131240$$

$$20 \cdot 19560 + 2 \cdot 3000000 = 6391200$$

Alternativ 2b:

$$20 \cdot 2450 + 2 \cdot 3000000 = 6049000$$

$$20 \cdot 4200 + 3 \cdot 3000000 = 9084000$$

E Bilaga: Dokumentation snöröjningstillfällena

I figur E.1 visas informationen som driftspersonalen fyllde i vid de två snöröjningstillfällena på Brantbrinks IP.

DOKUMENTATION BRANTBRINKS IP							
Datum	Starttid	Sluttid	Plogning/sopning	Typ av maskin	Bedömning av snö	Väderförhållande	Ansvarig driftsperson
2020-02-26	08:00	10:30	Plogning	Kioti (ploga) Wille (flytta snö)	Fluffig (5 cm)	Uppehåll, molnigt, -3-0	Peter Hök
2020-02-27	10:00	14:15	Plogning	Gummiplog traktor	Fluffig på väg mot kram	Snö, molnigt	Peter Natur

Figur E.1: Sammanställning av dokumentationen från de två snöröjningstillfällena.

F Bilaga: Meteorologisk data

I figur F.1 visas värden för beräkningen av snövolymen i de två snöhögarna med nederbördsdata från (SMHI 2020a).

Hög 1 (26/2)		Hög 2 (27/2)	
Nederbörd smält form (mm)	0,9	Nederbörd smält form (mm)	0,8
Nederbörd snö (mm)	9	Nederbörd snö (mm)	8
Längd konstgräsplan (m)	64	Längd konstgräsplan (m)	64
Bredd konstgräsplan (m)	110	Bredd konstgräsplan (m)	110
Volym (m ³)	63,36	Volym (m ³)	56,32
Volym (l)	63360	Volym (l)	56320
Antal hinkar	6336	Antal hinkar	5632

Figur F.1: Beräkning av volymen på de två snöhögarna.

I figur F.2 visas värden för beräkningen av mängden granulat i de två snöhögarna.

Beräkning av granulat						
Granulat/hink (kg/10 l)	Andel av snöhög	Antal hinkar	hela snöhögen	Granulat i sektion (kg)	Antal liter/snöhög	Massa granulat/l snö (kg/l)
0,232	0,166666667	6336		244,992	6336	0,472988812
1,108078037	0,333333333	6336		2340,260813	6336	
0,09	0,166666667	6336		95,04	6336	
0,105	0,166666667	6336		110,88	6336	
0,194776798	0,166666667	6336		205,6842984	6336	
1,729854834				2996,857112		
0,375	0,333333333	5632		704	5632	0,380739619
0,98427959	0,166666667	5632		923,910442	5632	
0,271	0,166666667	5632		254,3786667	5632	
0,187880262	0,166666667	5632		176,3569391	5632	
0,09127786	0,166666667	5632		85,67948458	5632	
1,909437712				2144,325532		

Figur F.2: Beräkning av mängden granulat i de två snöhögarna.