

## **Notat om gummigranulat infill til kunstgræsbaner** **- indledende undersøgelse i samarbejde med Københavns Universitet**

### **Hvad er gummigranulat infill?**

En kunstgræsbanes materialer og opbygning kan variere, men består typisk af et kunstgræstæppe (græsstrå i plastik), hvori der lægges infill materiale bestående typisk af granuleret SBR-gummi fra udtjente dæk sammen med kvartssand. Evt. kan der lægges en ekstra stødabsorberende måtte (foampad) under. Infill materialet giver banen spillemæssige egenskaber og komfort ved bl.a. at virke stødabsorberende, samt hjælper til at holde de kunstige græsstrå oprejst (Miljøstyrelsen, 2018).

### **Hvad er problemet med gummigranulat infill?**

Bildæk indeholder kemikalier, der er miljø- og sundhedsskadelige (Enguita & Leitão 2013, Halsband et al. 2020, Hiki et al. 2021, Seiwert et al. 2022, Zhao et al. 2023, Zimmermann et al. 2022), og risikoen for negative effekter på miljø og folkesundhed ved brug af gummigranulat infill fra brugte bildæk til kunstgræsbaner er mangesidig.

Potentielt skadelige kemikalier fra gummigranulatet udsætter spillerne, herunder særligt børn og unge, for direkte, når de spiller på banen. Der er tæt og direkte hudkontakt med et materiale som ikke er beregnet hertil, særligt i denne anvendelse hvor fald og hudafskrabninger er hyppige. Potentielt kan granulatet også slides til så små stykker, at partiklerne bliver til støv/pulver og luftbåren, og dermed at spillerne risikerer at indånde det (Evangeliou et al. 2020, Jenner 2022).

Foruden disse direkte sundhedsmæssige risici, transporteres kemikalier fra gummigranulatet også videre til miljøet, både ved direkte nedsivning (hvis banens opbygning ikke forhindrer dette) og via drænvand. Heri ligger såvel en sundheds- og miljørisiko ved forurening med kemikalier af vores grundvand, og dermed vores drikkevand, samt af vandmiljøet. Helt nyligt er der fundet kemikalier fra bildæk i vores drikkevand på Sjælland, herunder benzothiazol, som mistænkes at være sundhedsskadeligt (DR 2023, Ritzau 2023, Tisler et al. 2022) - dvs. kemikalier som vi også udsætter brugere af kunstgræsbaner med gummigranulat infill for, og som kan lække videre ud i miljøet og drikkevandet.

Ydermere ses de små plastikstykker at spildes fra banen til omkringliggende områder, ligger som synlig forurening i naturen og flyder videre ned i kloaksystemet og potentielt videre ud i vand- og havmiljøet. Det anslås, at der årligt i EU tabes 16.000 ton (ECHA) og i Danmark 450-1580 ton (Miljøstyrelsen, 2015) gummigranulat fra kunstgræsbaner til miljøet. Granulatet er i praksis umuligt at rydde op, når det først er tabt uden for banerne. Plastikstykkerne udgør her en fysisk forureningskilde med mikroplastik, som mindre og mellemstore dyr som fisk og fugle potentielt kan indtage som forvekslet naturlig føde og gøre direkte skade eller stresser dyrene. Partiklerne vil over tid desuden nedbrydes til nanoplastik og således være tilgængelige for endnu mindre dyr og potentielt transporteres over cellevægge og ind i blodbaner og organer (Jenner et al., 2022, Leslie et al. 2022, Shan et al. 2022). Skadelige

kemikalier i gummigranulatet kan yderligere give en negativ effekt på dyrenes levevis. Meget granulat slæbes hjem i fodboldstøvler, og kan transporteres videre til spildevands- og kloaksystemer herfra - og således videre ud i forskellige miljøer. Gummigranulat infill forurener således også langt væk fra selve banerne.

Endelig er brugen af brugte bildæk som "råvare" til kunstgræsbaner ikke en holdbar løsning i en cirkulær økonomi, særligt når der findes konkrete naturlige alternativer til infill materiale (Miljøstyrelsen 2020). Omend kasserede bildæk bruges en enkelt gang mere via brug til kunstgræsbaner infill, så stopper cirkulationen herefter, og årligt skal op til flere ton granulat påfyldes på banerne for at opretholde dens egenskaber og funktion, både fordi granulatet bliver slidt og mere kompakt, og fordi granulatet tabes fra banen (ECHA 2017). Selvom forskellige tiltag kan mindske tabet af gummigranulat fra banen, eksempelvis som vist i et nyt forskningsprojekt på Silkeborgbanen (Silkeborgbanen Faktaark 2023), kan et vist tab ikke undgås, og sådanne tiltag forhindrer ikke udvaskningen af problematiske stoffer fra granulatet ud i miljøet. Desuden er det tvivlsomt, om det kan lægges til grund for EU-lovgivning, at alle baner kan opsætte passende foranstaltninger, driftes, vedligeholdes og kontrolleres på samme niveau som i dette forskningsprojekt.

### **Hvorfor har I lavet dette mini studie?**

Studiet er lavet for at undersøge, hvorvidt gummigranulat infill fra kunstgræsbaner i Danmark indeholder og frigiver dokumenterede miljøskadelige kemikalier, med særlig fokus på kemikalierne 6PPD og 6PPD-quinone, samt andre velkendte gummi-tilsætningsstoffer som 2-phenylphenol og hydroquinon. Disse kemikalier er ofte ikke en del af de kemikalier, man typisk screener for i miljøundersøgelser.

Denne form for dokumentation er aktuelt særligt nu, hvor EU står over for et nyt lovforslag omkring forbud mod bevidst tilsat mikroplastik, herunder gummigranulat som infill på kunstgræsbaner. REACH komiteen skal stemme om lovforslaget d. 26. april 2023. Forbuddet mod specifikt gummigranulat på kunstgræsbaner møder modstand af den danske Miljøminister (mens de fleste andre EU lande bakker op om et forbud), der i stedet foretrækker at begrænse forureningen ved foranstaltninger, fysisk og adfærdsmæssigt, ved banerne - med argumentet om at folkesundheden gennem muligheden for udendørs sportsaktiviteter året rundt samt idræts- og foreningslivet skal beskyttes (Altinget 2023). Den danske modstand gør det desto mere aktuelt at synliggøre sundheds- og miljørisici ved gummigranulat infill på også danske kunstgræsbaner - og dermed at folkesundheden og miljøet netop er i fare, hvis brugen fortsætter. De sundhedsmæssige fordele ved at børn og unge dyrker idræt og får sociale fællesskaber ved at kunne dyrke sport udendørs om vinteren på kunstgræsbaner er grundlæggende ikke i fare, idet der ikke er tale om et forbud mod kunstgræsbaner men udelukkende gummigranulat som infill. Idet der allerede findes naturlige alternativer til infill til kunstgræsbaner (Miljøstyrelsen 2020) vil børn og unge fortsat, også med et forbud, kunne dyrke sport udendørs året rundt. Derfor bør Danmark som de fleste andre EU lande selvfølgelig også bakke op om et forbud, netop af hensyn til at beskytte danskernes folkesundhed og miljøet.

### **Hvilke baner er der taget prøver fra?**

Der er taget prøver af gummigranulat infill på tre kunstgræsbaner i København: Ryparken Idrætsanlæg (bane 1), Frederiksberg Hallerne ved Jens Jessens Vej (bane 4), og Valby Idrætspark (bane K3, 40). På alle tre baner var gummigranulatet tilsyneladende helt eller

forholdsvist nypåført. Prøverne blev foretaget 29. marts 2023 i tidsrummet 10.30 til 14. De tre baner blev udvalgt for at fokusere på baner tæt på Hovedstaden, men med forskel i hvornår banerne er blevet anlagt. Banen på Ryparken Idrætsanlæg er således den ældste, mens banen ved Frederiksberg Hallerne er den nyeste.

### **Hvordan blev prøverne taget?**

På hver af de tre baner blev der indsamlet tre delprøver. Hver delprøve bestod af gummigranulat fra 10 tilfældigt udvalgte og forskellige områder af banen. Hver delprøve havde hver i alt ca. 200 mL indsamlet gummigranulat. Gummigranulatet blev opsamlet med en metal ske i størrelsen 20 mL. Skeen var under al transport pakket ind i metalfolie for at undgå kontaminering fra transportkassen. Gummigranulatet blev opbevaret i steriliserede glasflasker.

### **Hvilke kemikalier er der testet for og hvorfor?**

Med den pågældende analyse i dette mini studie blev der testet for tilstedeværelsen af en bred vifte af stoffer i det indsamlede gummigranulat infill fra de tre baner. Derudover blev koncentrationen estimeret for tre specifikke stoffer: 6PPD, 2-phenylphenol og hydroquinone. Disse stoffer er interessante at undersøge nærmere, fordi man ved 1) at de bruges som tilsætningsstof i visse dæktyper, og 2) at de har kendt en skadelig effekt på miljø og sundhed. Derfor har vi i dette ministudie fokuseret på disse tre stoffer og undersøgt om og i hvilke koncentrationer, de kan findes i gummigranulat infill fra danske kunstgræsbaner - og hermed om kunstgræsbaner med gummigranulat infill udgør en konkret miljörisiko i dansk kontekst.

6PPD er særligt relevant at undersøge kva dets dokumenterede miljøskadende effekt, særligt i vandmiljøet (Miljøstyrelsen 2008), og fordi bildæk potentielt kan indeholde 6PPD. Dertil kommer at stoffet 6PPD uundgåeligt nedbrydes til det endnu mere og akut miljøgiftige 6PPD-quinone (Boxer et al. 2021, Tian et al. 2022, Zhao et al., 2023), og dermed udgør en konkret kilde til forureningen af vandmiljøet med særligt bekymrende stoffer. Af metodiske og tidsmæssige årsager kunne koncentrationen af stoffet 6PPD-quinone ikke nås at estimeres direkte i dette mini-studie, men sådanne analyser udføres i nærmeste fremtid.

2-Phenylphenol anvendes som tilsætningsstof i dæk, og hydroquinone er en antioxidant, der bruges i dækproduktion. Begge stoffer anses som værende forurenende og giver anledning til bekymring, idet de er giftige for vandmiljøet og potentielt kræftfremkaldende (Enguita & Leitão, 2013; Zimmermann et al., 2022, New Jersey Department of Health 2010).

Benzothiazol og melamine, som også blev konstateret at være tilstede i gummigranulat infill udvask prøverne, er ligeledes problematiske for sundhed og miljø. Benzothiazol, som bl.a. bruges i gummi- og dækproduktion, viser høj giftighed i celletests (Ritzau 2023). Melamine bruges bl.a. i fremstilling af hård plast og i rengøringsmidler, men kan findes i mange anvendelser og også være et biprodukt fra andre stoffers nedbrydning (f.eks. pesticider). Det er hormonforstyrrende, kan skade nyre og blære (Ritzau 2023), er mistænkt at være persistent, bioakkumulerende og giftigt for miljøet - og klassificeres som et særligt problematisk stof (Substance of Very High Concern, SVHC) (ECHA, 2022 (2)). Både benzothiazol og melamine nyligt også blevet fundet i dansk grundvand (Tisler et al. 2022).

*Mere baggrund om 6PPD og 6PPD-quinone:* Siden slut 1990'erne har man oplevet ekstraordinær høj dødelighed i urbane vandmiljøer blandt coho laksen, der lever naturligt i det nordvestlige USA. Først godt 20 år senere i 2020 fandt man årsagen: 6PPD og 6PPD-quinone (Boxer et al. 2021).

6PPD (forkortelse for N-(1,3-dimethylbutyl)-N'-phenyl-p-phenylenediamine) er et stof, der siden 1970'erne er tilsat som additiv til gummimateriale til bildæk for at beskytte gummi mod degradering. Ilt og ozon fra luften reagerer naturligt med gummi og gør det hurtigere sprødt og slidt uden en beskyttelsesagent såsom 6PPD. 6PPD fra bildækket reagerer over tid med ilt og ozon og danner 6PPD-quinone. Begge stoffer er miljøskadelige, 6PPD er desuden bioakkumulerende, og 6PPD-quinone er dokumenteret at være særligt giftigt for vandmiljøet og årsagen til den forhøjede dødelighed blandt Coho-laksen. 6PPD er desuden moderat akut giftigt for pattedyr, og har muligvis en negativ effekt på udvikling hos mennesker (bl.a. Boxer et al. 2021). Flere øvrige aspekter omkring miljø- og sundhedsrisikoen ved man dog endnu ikke om disse to stoffer.

### **Metode til analyse af det indsamlede gummigranulat**

Gummigranulatet blev ekstraheret med en metode, der skal efterligne den potentielle udvaskning fra kunstgræsbaner og undersøgt for en række udvalgte kemiske stoffer (analyser).

Ekstraktionen blev foretaget ved at tilsætte 75 mL rent vand til 15 gram gummigranulat og ekstrahere i 24 timer under omrøring. Bagefter blev vandet filtreret fra, og der blev kørt en solid-phase extraction (SPE) metode for at opkoncentrere de kemiske stoffer i prøverne. SPE består i at passere prøven gennem et materiale tilbageholde analyterne og efterfølgende eluere med 11 mL methanol. Ekstraktet blev efterfølgende inddampet til et slut-volumen på 1 mL.

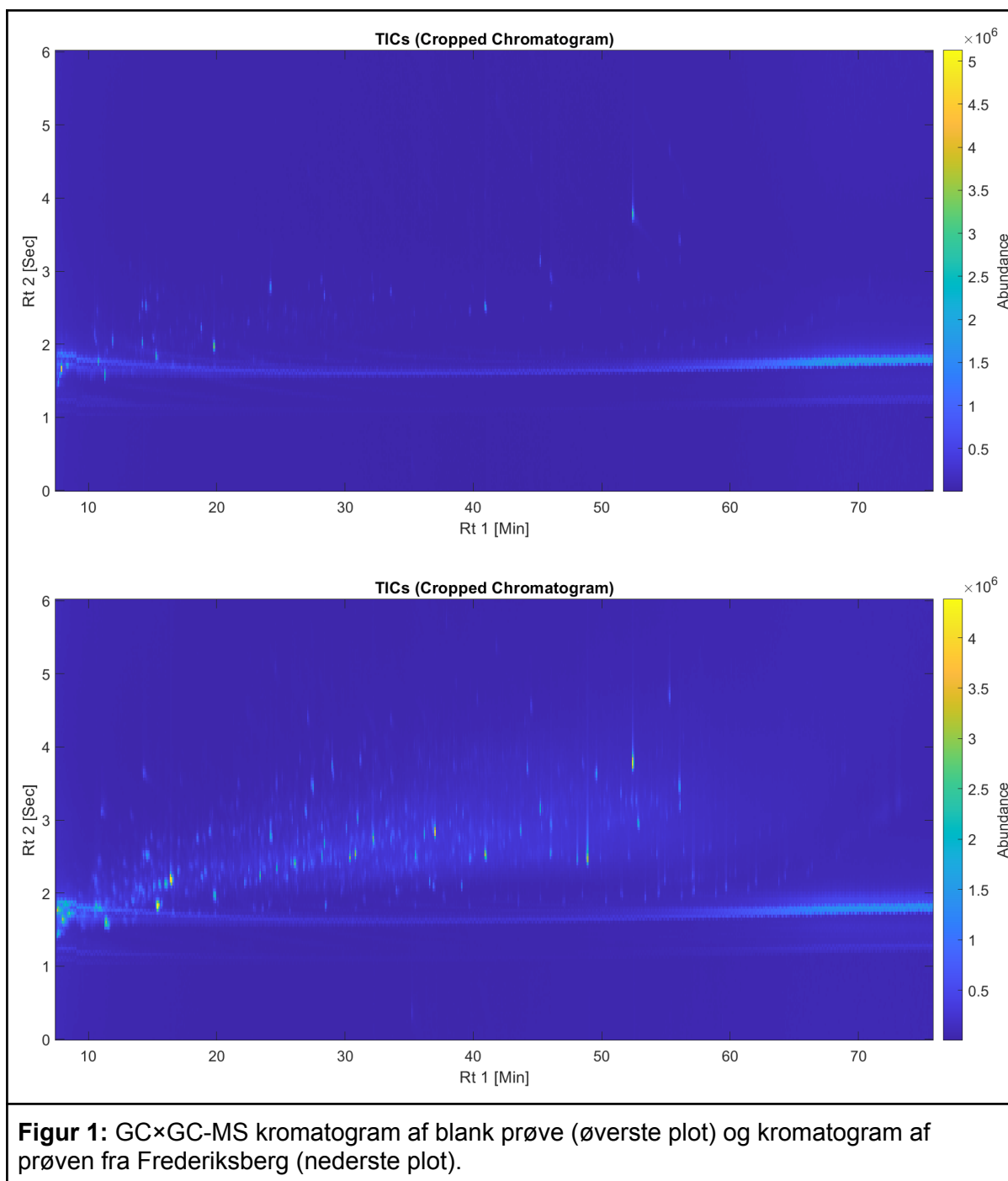
Det færdige ekstrakt blev analyseret med to-dimensionel gas-kromatografi koblet til et høj-resolution masse spektrometer (GC×GC-HRMS), som er i stand til at detektere en lang række kemiske stoffer. Det er planen i fremtiden også at måle med væsekromatografi-masse spektrometri, som er en komplementær metode til detektion og identificering af kemiske stoffer.

Udvalgte relevante og miljøskadelige stoffer blev kvantificeret ud fra kalibreringskurver med standarder og standarder for hvert stof. Derudover blev der foretaget data-processering med et non-target screening workflow for at detektere og identificere både kendte og ukendte kemiske stoffer i prøven.

### **Resultater**

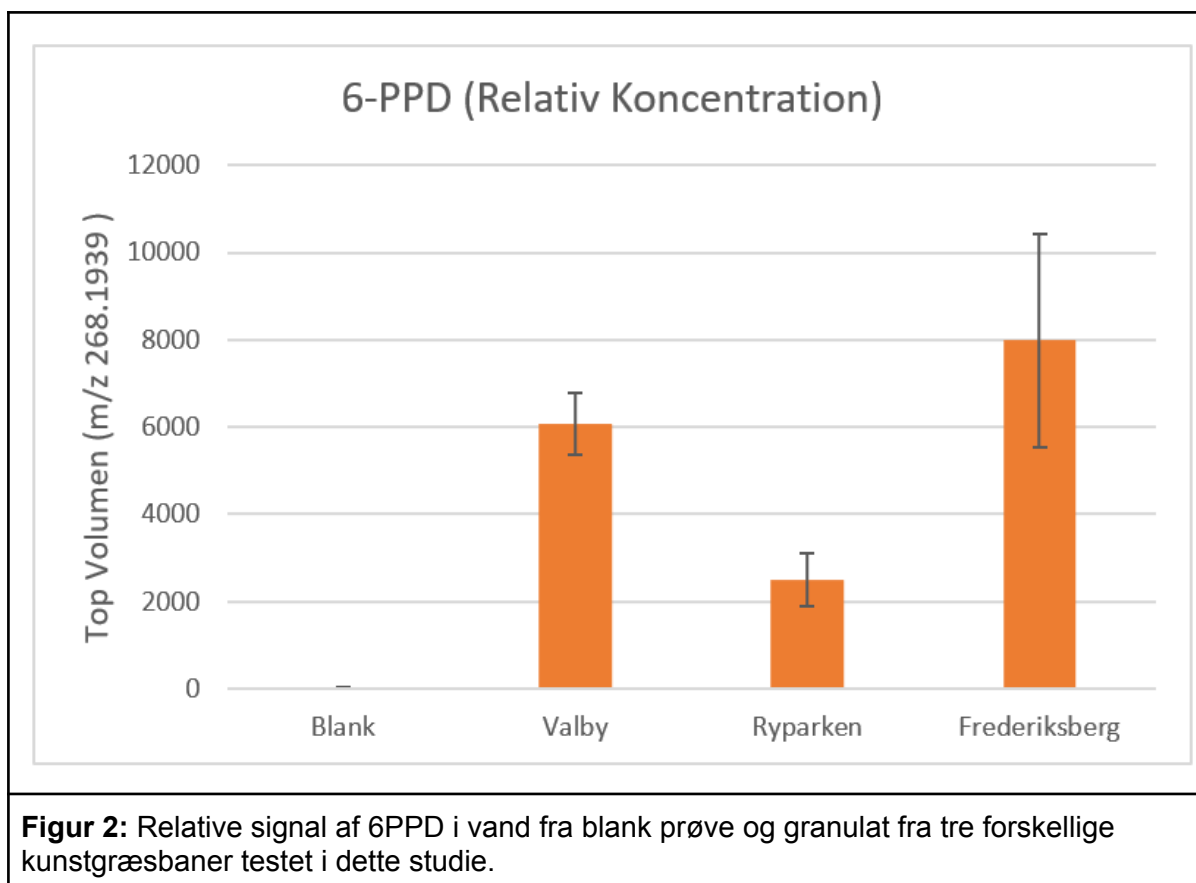
Flere hundrede stoffer blev detekteret i prøverne, heriblandt 6PPD, melamine, benzothiazole, 2-phenylphenol og hydroquinone, som alle anses som værende problematiske for miljø og sundhed. Det indikerer, at en lang række stoffer kan blive udvasket fra gummigranulat anvendt på kunstgræsbaner, heriblandt mange som normalt ikke måles for i miljøundersøgelser.

På figur 1 ses et GC×GC-MS kromatogram (kemisk fingeraftryk) af ekstrakt af rent vand (blank prøve) og det kemiske fingeraftryk af en vandprøve baseret på granulat infill fra banen på Frederiksberg. På figuren kan der ses et stort indhold af stoffer i vandprøven, som har været i kontakt med granulatet.

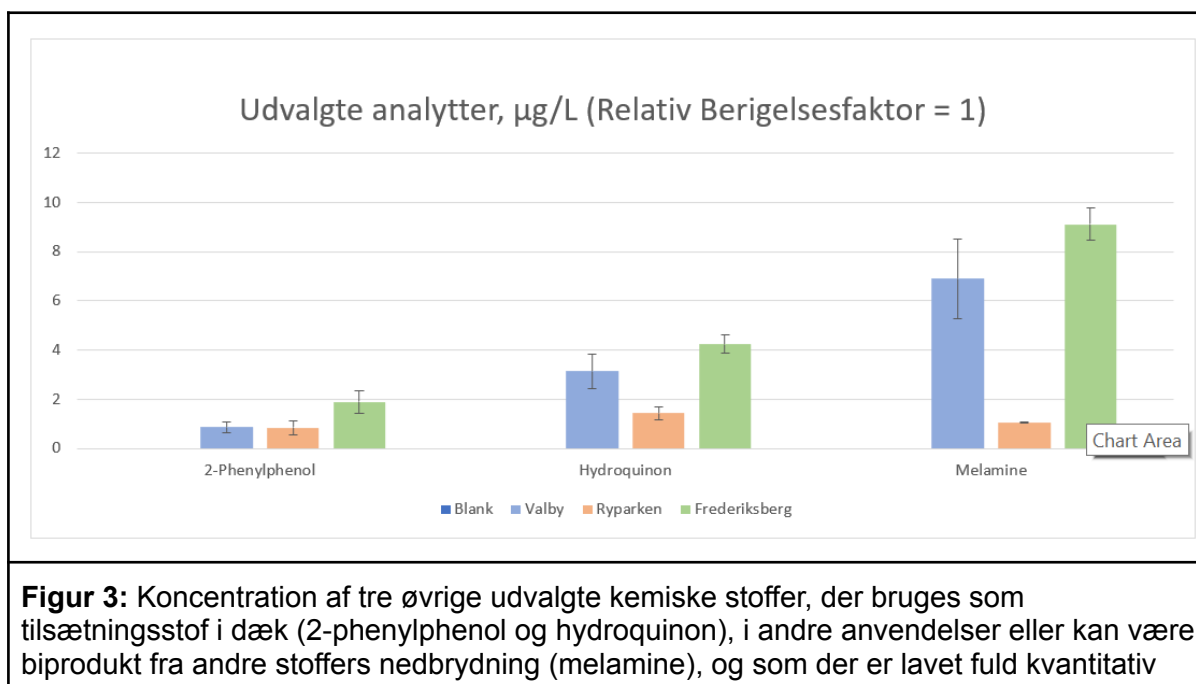


**Figur 1:** GC×GC-MS kromatogram af blank prøve (øverste plot) og kromatogram af prøven fra Frederiksberg (nederste plot).

Koncentrationen i 75 ml ekstrakten blev for 6PPD estimeret til ca. 1-3  $\mu\text{g/L}$  niveauer, men dette skal valideres via yderligere analyser, da 6PPD standarden var delvist nedbrudt til 6PPD-quinone i laboratoriet, så koncentrations-estimatet er udført ud fra standarder analyseret tidligere i laboratoriet. Det er blandt andet denne nedbrydning, som også sker med 6PPD i miljøet (Zhao et al. 2023). Figur 2 viser det relative analytiske signal af 6PPD i rent vand og i prøver af gummigranulat infill fra de tre kunstgræsbaner.



Derudover blev blandt andet 2-Phenylphenol, der anvendes som tilsætningsstof i dæk, målt til en estimeret koncentration på op til 2.3 µg/L. Koncentrationen af hydroquinon, en antioxidant, der bruges i dækproduktion, blev målt til 1.1 - 4.5 µg/L. Se figur 3 nedenfor.



analyse af i dette studie. Melamin er desuden nyligt fundet i dansk grundvand (Tisler et al. 2022).

Set i forhold til gældende grænseværdier NOEC (No Observable Effect Concentration) er de målte koncentrationer ikke ubetydelige og er ud fra et forsigtighedsprincip bekymrende (se tabel 1). Særligt 6PPD er fundet i forholdsvis høje koncentrationer, og sammen med 6PPD-quinone, som uundgåeligt bliver dannet fra 6PPD og er endnu mere giftigt for vandmiljøet, kan det potentielt udgøre en konkret risiko for flere vandlevende arters tilbagegang, som det helt konkret har gjort med Coho-laksen.

Det er dog vigtigt at understrege, at der ikke kan konkluderes noget endeligt ud fra de målte koncentrationer, da der kræves yderligere og mere præcise analyser for at validere tallene. Tallene skal derfor tolkes som en indledende indikation på mængden, der udvaskes fra granulat infill fra kunstgræsbaner.

Kemisk stof	Koncentration målt	Grænseværdi, koncentration (NOEC)
6PPD	ca. 1 - 3 µg/L	3.7 µg/L (fisk)  (Belgian Federal Public Service Health, Food Chain Safety and Environment Risk Management service, 2018)
2-Phenylphenol	0.5 - 2.3 µg/L	Ikke tilgængelig for vandlevende organismer.
Hydroquinon	1.1 - 4.5 µg/L	29 µg/L (akvatiske invertebrater)  (ECHA, 2022 (1))
Melamine	ca. 1 - 9.5 µg/L	5250 - 11000 µg/L (fisk og akvatiske invertebrater)  (ECHA 2022 (2))

**Tabel 1:** Sammenligning af koncentrationen af de fire stoffer, som der er lavet kvantitativ analyse af, med grænseværdier NOEC (No Observable Effect Concentration). Selvom ingen af de undersøgte stoffer overskrider grænseværdien, er særligt 6PPD estimeret i forholdsvis høje koncentrationer.

### Hvad bidrager dette mini-studie til af ny viden?

Dette mini-studie indikerer, at flere hundrede stoffer, hvoraf flere er skadelige for miljø og sundhed, kan blive udvasket fra gummigranulat anvendt på kunstgræsbaner i Danmark, heriblandt mange som normalt ikke måles for i miljøundersøgelser. Desuden blev to problematiske stoffer, melamine og benzothiazol, detekteret i prøverne - begge stoffer som nyligt også er konstateret i dansk grundvand. Kunstgræsbaner med gummigranulat infill kan

derved potentielt være en (af flere) mulige kilder til, at problematiske stoffer finder vej ned i dansk grundvand. Derudover blev 6PPD fundet i forholdsvis høje koncentrationer. Det er bekymrende, fordi 6PPD i miljøet let omdannes til 6PPD-quinone, som er særligt giftigt for vandmiljøet. Kunstgræsbaner er dermed en konkret kilde og bidrager til forureningen af flere problematiske stoffer til det danske miljø - og derfor bør den danske Miljøminister netop klart bakke op om et EU-forbud mod brugen af gummigranulat på kunstgræsbaner af hensyn til både miljø og folkesundheden.

Resultaterne udgør det første skridt i en mere uddybende undersøgelse af udvaskningen fra gummigranulat, som forskere på KU er i gang med. I kommende undersøgelser vil drænvand fra kunstgræsbaner undersøges nærmere for indhold og koncentrationer af diverse problematiske stoffer, og her vil det mere præcist kunne kvantificeres, hvor store mængder af de forskellige stoffer, der udledes til det danske miljø.



**Citater:**

*Jan H. Christensen, Professor, Section for Environmental Chemistry and Physics,  
Department of Plant and Environmental Sciences, Københavns Universitet*

Særligt 6PPD er fundet i forholdsvis høje koncentrationer og sammenligneligt med hvad man finder i overfladevand fra veje, hvilket i sig selv er bekymrende i forhold til stoffets miljørisiko og dets grænseværdi, men derudover også fordi det er velkendt, at 6PPD let omdannes til det endnu mere giftige 6PPD-quinone.

*Henrik Beha Pedersen, miljøbiolog med speciale i kemikaliers cocktaileffekter og EU regulering, samt stifter af Plastic Change:*

Den korte: Når Danmark i EU kæmper for, at vi fortsat i lang tid skal kværne og sprede miljø- og sundhedsskadelige bildæk på vores børns fodboldbaner, er det et gigantisk selvmål. Et selvmål der udhuler Danmarks rolle som et grønt foregangsland.

Den lange: På baggrund af det mini-studie Københavns Universitet har udført, samt EUs kemikalieagentur ECHA's anbefalinger, mener jeg, at vi bør være alvorligt bekymrede for miljøet og folkesundheden ved at bruge udtjente bildæk med giftige kemikalier som gummigranulat til kunstgræsbaner. Særligt fordi at der allerede findes naturlige alternativer til infill materiale, så børn og unge fortsat vil kunne dyrke sport udendørs året rundt. Nu har vi her en unik chance for at komme problemet med skadelig kemi fra kunstgræsbaner til livs. Derfor bør vores Miljøminister naturligvis støtte op om et EU-forbud. Alt andet vil være et gigantisk selvmål.

**Kontakt:**

Jan H. Christensen, Professor, Institut for Plante- og Miljøvidenskab, Københavns Universitet

[jch@plen.ku.dk](mailto:jch@plen.ku.dk), tlf. 35 33 24 56

Henrik Beha Pedersen, miljøbiolog og stifter af Plastic Change

[hbp@plasticchange.org](mailto:hbp@plasticchange.org), tlf. 22 88 16 15

## Kildeliste

Altinget, 7. marts 2023: Heunicke går i brechen for kunstgræsbaner: "Et forbud vil have en massiv negativ effekt på folkesundheden og foreningslivet".

<https://www.altinget.dk/eu/artikel/heunicke-gaar-i-brechen-for-kunstgraesbaner-et-forbud-vil-have-en-massiv-negativ-effekt-paa-folkesundheden-og-foreningslivet>

Belgian Federal Public Service Health, Food Chain Safety and Environment  
Risk Management service, 2018: Substance Evaluation Conclusion as required by REACH Article 48 and Evaluation Report for N,N'-bis(1,4-dimethylpentyl)-p-phenylenediamine

<https://echa.europa.eu/documents/10162/81052d17-6bc1-972a-ebfd-7f9aa40644e7>

Boxer et al., 2021: Saving COHO-salmon: alternatives for 6PPD in tire manufacturing. Præsentation fra bl.a. Berkeley Center for Green Chemistry og USTMA

[https://bcgc.berkeley.edu/sites/default/files/01\\_-\\_6ppd\\_finalpresentation.pdf](https://bcgc.berkeley.edu/sites/default/files/01_-_6ppd_finalpresentation.pdf)

DR, 17. april 2023: Kemisk stof, der bruges i bildæk og kunstgræsbaner, er fundet i dansk drikkevand.

<https://www.dr.dk/nyheder/seneste/kemisk-stof-der-bruges-i-bildaek-og-kunstgraesbaner-er-fundet-i-dansk-drikkevand>

ECHA: Granulat og dækningsmaterialer på idrætsbaner.

<https://echa.europa.eu/hot-topics/granules-mulches-on-pitches-playgrounds>

ECHA, 2017: Annex XV Report: An evaluation of the possible health risks of recycled rubber granules used as infill in synthetic turf sports fields.

[https://echa.europa.eu/documents/10162/13563/annex-xv\\_report\\_rubber\\_granules\\_en.pdf/dcbcb4ee6-1c65-af35-7a18-f6ac1ac29fe4](https://echa.europa.eu/documents/10162/13563/annex-xv_report_rubber_granules_en.pdf/dcbcb4ee6-1c65-af35-7a18-f6ac1ac29fe4)

ECHA, 2022 (1): Hydroquinone - Short-term toxicity to aquatic invertebrates

<https://echa.europa.eu/da/registration-dossier/-/registered-dossier/14417/6/2/4>

ECHA, 2022 (2): Member State Committee Support Document for identification of melamine.

<https://echa.europa.eu/documents/10162/a94feb1d-4719-61ce-f815-0ee82ba17762>

Enguita & Leitão, 2013: Hydroquinone: environmental pollution, toxicity, and microbial answers. Biomed Res Int.

<https://www.hindawi.com/journals/bmri/2013/542168/>

Evangeliou et al., 2020: Atmospheric transport is a major pathway of microplastics to remote regions. Nature Communications 11.

<https://www.nature.com/articles/s41467-020-17201-9>

Halsband et al., 2020: Car Tire Crumb Rubber: Does Leaching Produce a Toxic Chemical Cocktail in Coastal Marine Systems? Front. Environ. Sci., vol. 8

<https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fenvs.2020.00125/full>

Hiki et al., 2021: Acute Toxicity of a Tire Rubber-Derived Chemical, 6PPD Quinone, to Freshwater Fish and Crustacean Species. Environ. Sci. Technol. Lett., 8, 9, 779–784

<https://pubs.acs.org/doi/abs/10.1021/acs.estlett.1c00453>

Jenner et al., 2022: Detection of microplastics in human lung tissue using  $\mu$ FTIR spectroscopy. Science of The Total Environment vol. 813

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969722020009>

Leslie et al. 2022: Discovery and quantification of plastic particle pollution in human blood. Environment International, vol. 163

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0160412022001258>

Miljøstyrelsen, 2008: Kortlægning, emissioner samt miljø- og sundhedsmæssig vurdering af kemiske stoffer i kunstgræs. Afsnit 8.2: 6PPD.

<https://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2008/978-87-7052-847-4/pdf/978-87-7052-848-1.pdf>

Miljøstyrelsen, 2015: Microplastics: Occurrence, effects and sources of releases to the environment in Denmark

<https://www2.mst.dk/udgiv/publications/2015/10/978-87-93352-80-3.pdf>

Miljøstyrelsen, 2018: Vejledning om kunstgræsbaner

<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2018/05/978-87-93710-25-2.pdf>

Miljøstyrelsen, 2020: Kunstgræsbaner - Alternativer til gummigranulat som infill og erfaringer med banepleje.

<https://www2.mst.dk/Udgiv/publikationer/2020/02/978-87-7038-164-2.pdf>

New Jersey Department of Health, 2010: Hazardous Substance Fact Sheet: o-Phenylphenol.

<https://nj.gov/health/eoh/rtkweb/documents/fs/1439.pdf>

Ritzau, 17. april 2023: Nye typer bekymrende stoffer målt i dansk drikkevand,

<https://via.ritzau.dk/pressemeddelelse/nye-typer-bekymrende-stoffer-malt-i-dansk-drikkevand?publisherId=13561218&releaselid=13677189>

Seiwert et al., 2022: Abiotic oxidative transformation of 6-PPD and 6-PPD quinone from tires and occurrence of their products in snow from urban roads and in municipal wastewater. *Water Research*, vol. 212

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0043135422000859>

Shan et al. 2022: Polystyrene nanoplastics penetrate across the blood-brain barrier and induce activation of microglia in the brain of mice. *Chemosphere*, vol. 298

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0045653522007548?via%3Dihub>

Silkeborgbanen, 2023: Faktaark: Nye delresultater fra Silkeborgbanen - Spredning af gummigranulat fra kunstgræsbaner til omgivelserne kan forebygges.

[https://silkeborgbanen.dk/wp-content/uploads/2023/02/Faktaark\\_Silkeborgbanen\\_Februar-2023.pdf](https://silkeborgbanen.dk/wp-content/uploads/2023/02/Faktaark_Silkeborgbanen_Februar-2023.pdf)

Tian et al., 2022: 6PPD-Quinone: Revised Toxicity Assessment and Quantification with a Commercial Standard. *Environ. Sci. Technol. Lett.*, vol. 9.

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.estlett.1c00910>

Tisler et al., 2022: Non-target screening of micropollutants and transformation products for assessing AOP-BAC treatment in groundwater. *Environmental Pollution*, vol. 309.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749122009721>

Varshney et al., 2022: Toxicological effects of 6PPD and 6PPD quinone in zebrafish larvae. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 424.

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389421025917>

Zimmermann et al., 2022: Implementing the EU Chemicals Strategy for Sustainability: The case of food contact chemicals of concern. *Journal of Hazardous Materials*, vol. 437 (Supplementary Material, Table 2)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389422009578?via%3Dihub#ec0005>

Zhao et al., 2023: Screening p-Phenylenediamine Antioxidants, Their Transformation Products, and Industrial Chemical Additives in Crumb Rubber and Elastomeric Consumer Products. *Environ. Sci. Technol.*, 57, 7, 2779–2791

<https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.2c07014>