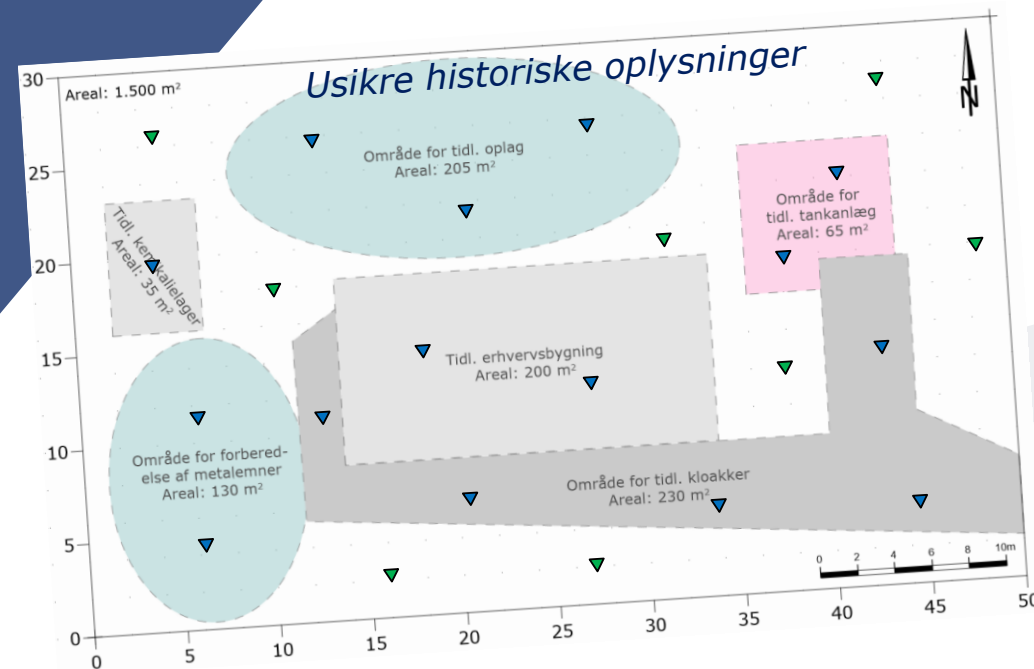


Design af poreluftsscreeningsundersøgelser inkl. ønsket sikkerhed. - Hvordan gør man ... og hvorfor?

Per Loll
Udviklingsleder, Ph.D., DMR A/S



What's my angle? (kun 2 min. af din tid.)

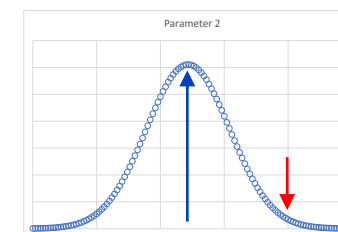
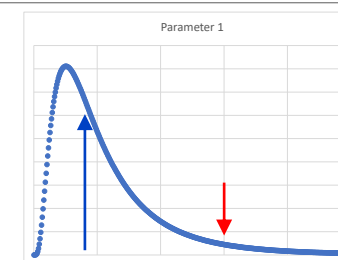


- Hvorfor fortæller Per egentlig ofte noget med en statistisk vinkel?
- Forklaringen går tilbage til mit studium på AAU i midt '90-erne.
 - Vi havde en del "teoretiske" statistikkurser (små-ubrugelige).
 - En prof. fortalte om Monte-Carlo simulering på et vandløb.
 - Det var smart ikke bare at give resultatet som ét tal (=bedste bud).
 - Jeg endte med at lave både speciale og Ph.D. om stokastisk modellering & et kursus i anvendt statistik.
 - Den gang havde vi egentlig sjældent data nok – det har vi nu!

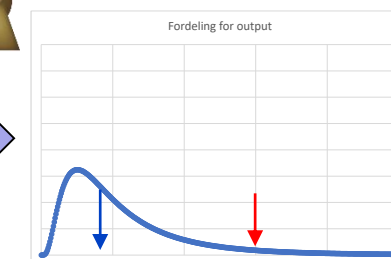
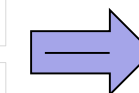
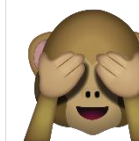
Inddata (med usikkerhed) -> processering -> uddata -> beslutning træffes

- Usikkerhed på vores inddata BØR blive oversat til usikkerhed på uddata.
 - Middelværdier eller **worst-case** er for tyndt!
- Mit indlæg er ét bud på anvendt statistik!

Min forudsætning: Prøverne er udtaget korrekt, og analyserne er retvisende.



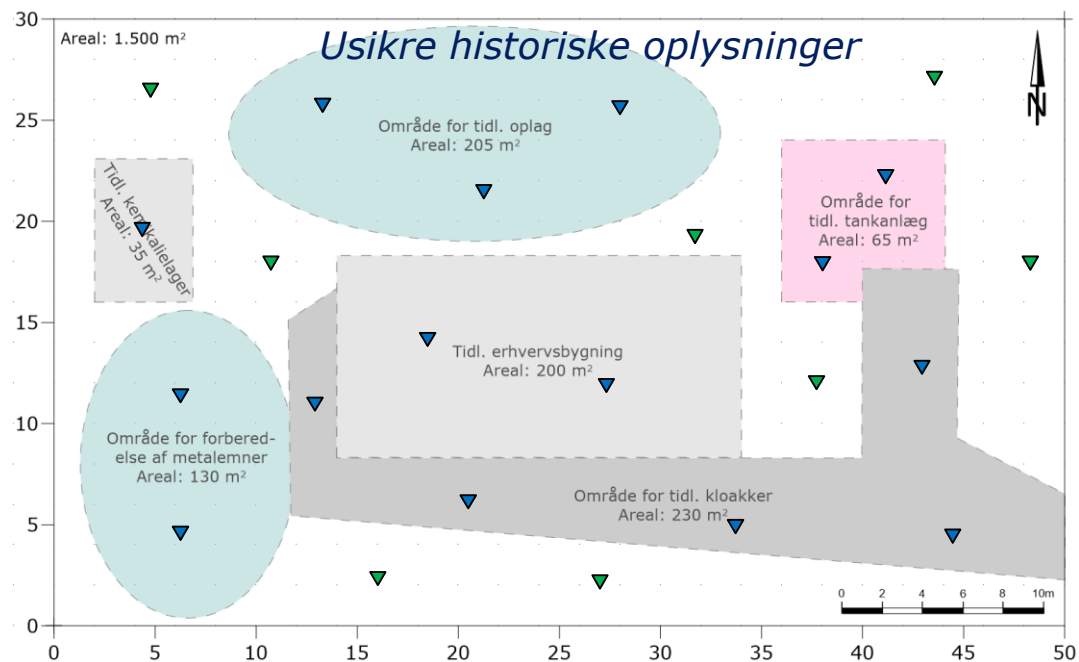
...



Vi træffer en beslutning.

Bagtæppet for mit indlæg - poreluftscreening

- Poreluftprøver kan anvendes som værktøj til screening for terrænnær jordforurening i områder uden "kendte" kilder.
 - Poreluftscreening anvendes som supplement til undersøgelse af potentielle kilder, jf. historik – evt. ift. V2-kortlægning.
- Anvendes oftest ift. olie eller chlorerede opløsningsmidler.
- Anvendes både på indledende og videregående sager.



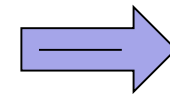
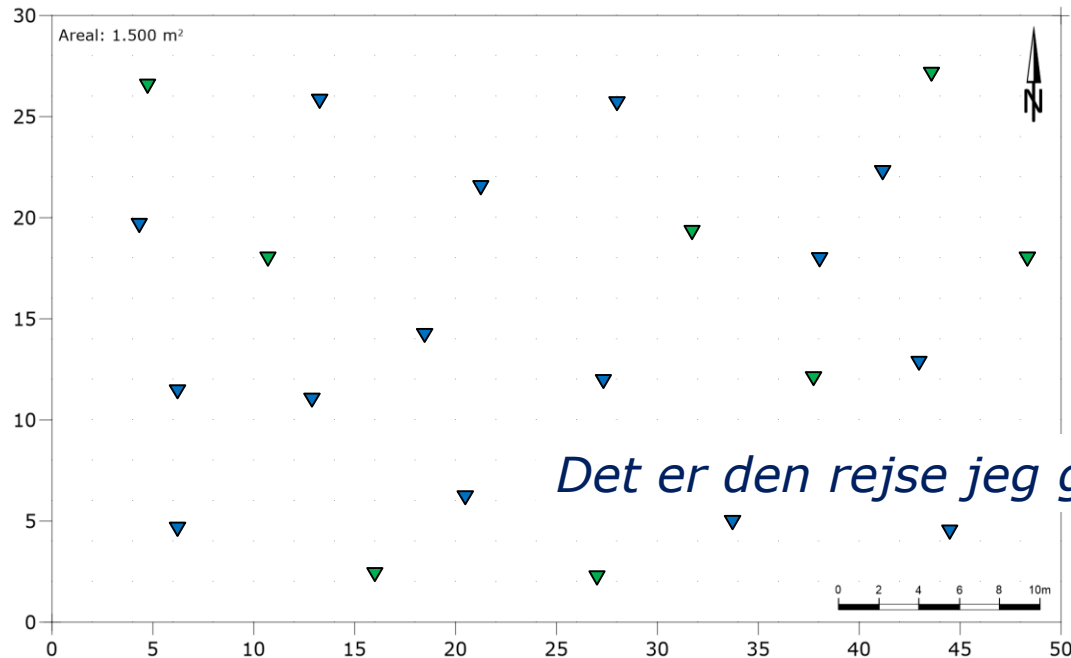
15 stk.
+8 stk.



Men pga. de usikre historiske oplysninger kan vi i virkeligheden forestille os hvad som helst!

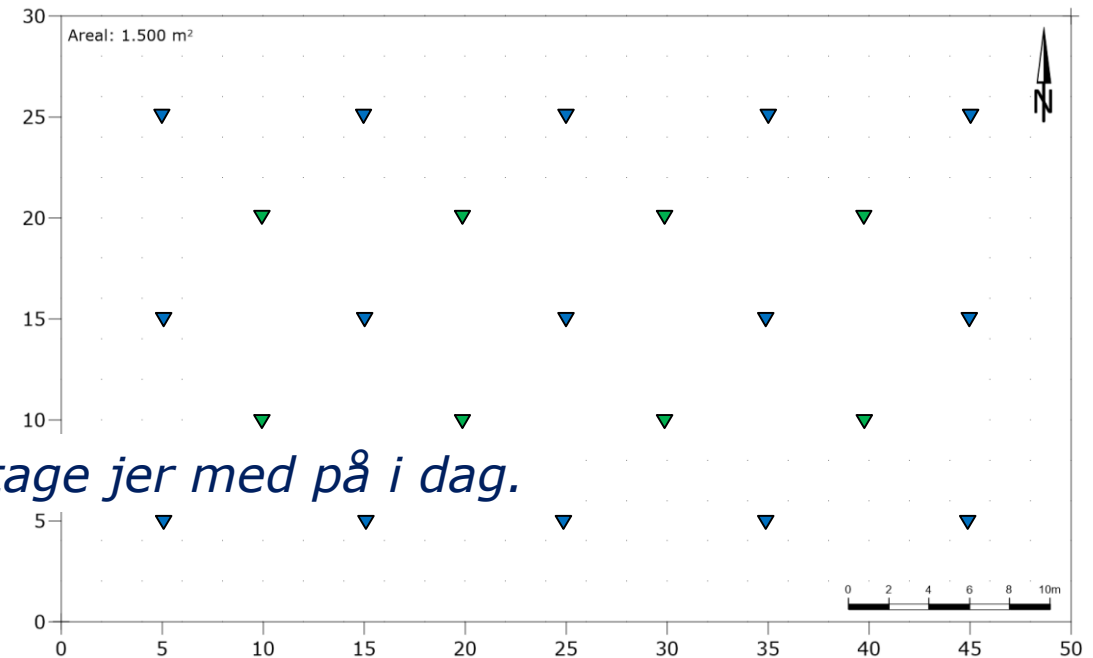
Bagtæppet for mit indlæg - poreluftscreening

- Poreluftprøver kan anvendes som værktøj til screening for terrænnær jordforurening i områder uden "kendte" kilder.
 - Poreluftscreening anvendes som supplement til undersøgelse af potentielle kilder, jf. historik – evt. ift. V2-kortlægning.
- Anvendes oftest ift. olie eller chlorerede opløsningsmidler.
- Anvendes både på indledende og videregående sager.



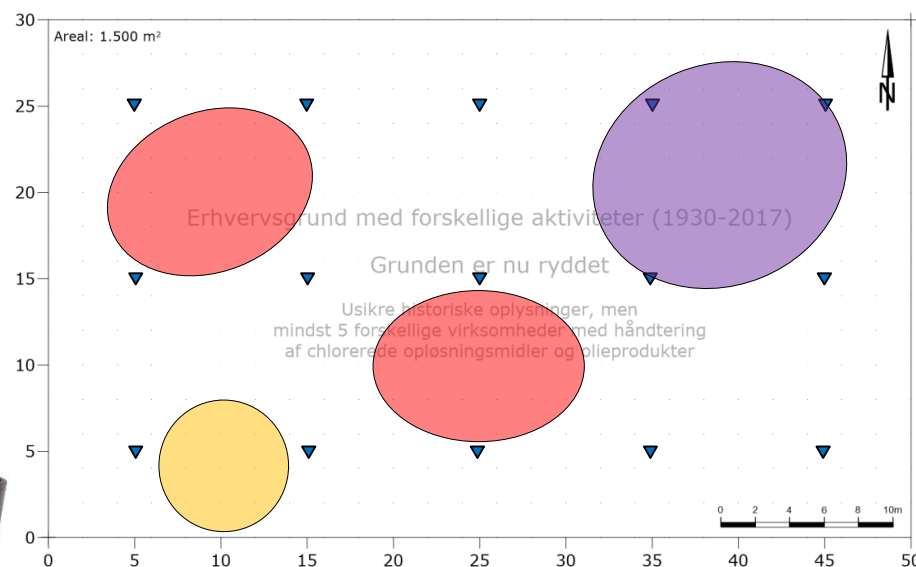
15 stk.
+8 stk.

Det er den rejse jeg gerne vil tage jer med på i dag.

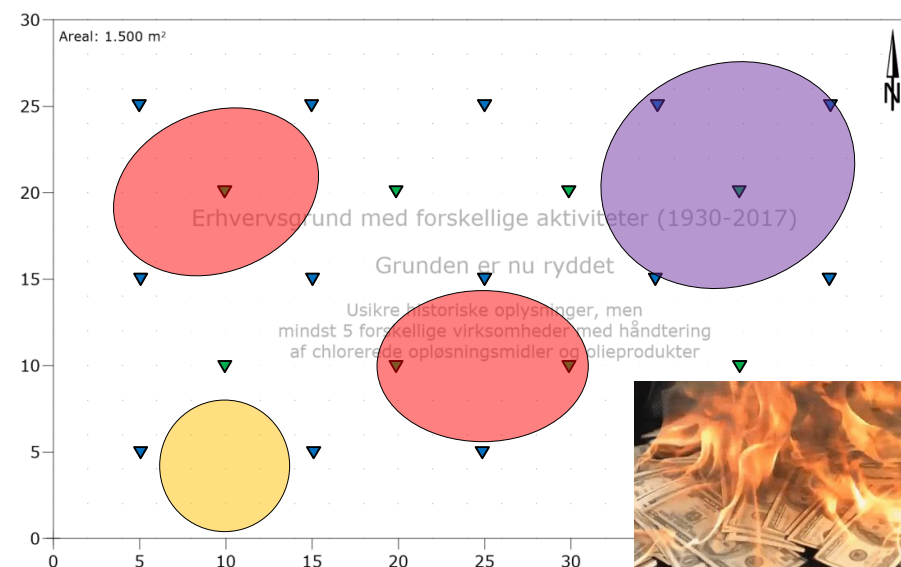


Poreluftscreening ... med sikkerhed

- Vi ved, at robuste beslutninger kræver flere data.
- Vi ved, at flere punkter giver større sikkerhed for at finde (ukendte) kildeområder, der måtte gemme sig på et areal.



Dette oplæg er måske godt nok!?



Men dette er mere sikkert/robust.

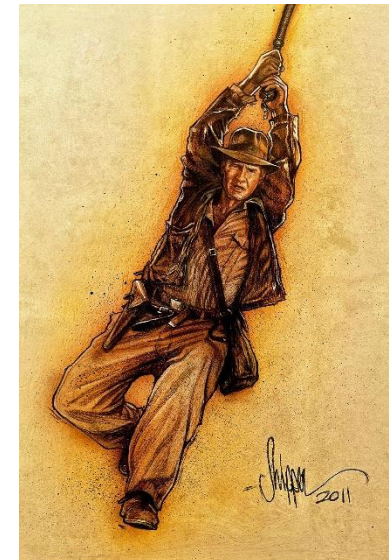
- Flere punkter -> større sikkerhed for at finde et hot-spot af en given størrelse.
- ... og større sikkerhed for at finde mindre hot-spots.



Safety in numbers

Poreluftscreening ... med sikkerhed

- Det er sgu' alt sammen meget godt, Per, men ...
- Hvordan kan vi arbejde med det i praksis?
- Og hvordan vælger vi antallet af punkter?
 - Kan vi bruge "plejer" og "på gefühl" til noget?
 - Kan vi tage konsekvenserne af at overse en forurening i ed?
 - Hvor mange penge har vi?
- Vi vil gerne have et godt mix af "sikkert" og "billigt".
- Det er det resten af mit oplæg handler om ... så hæng på.

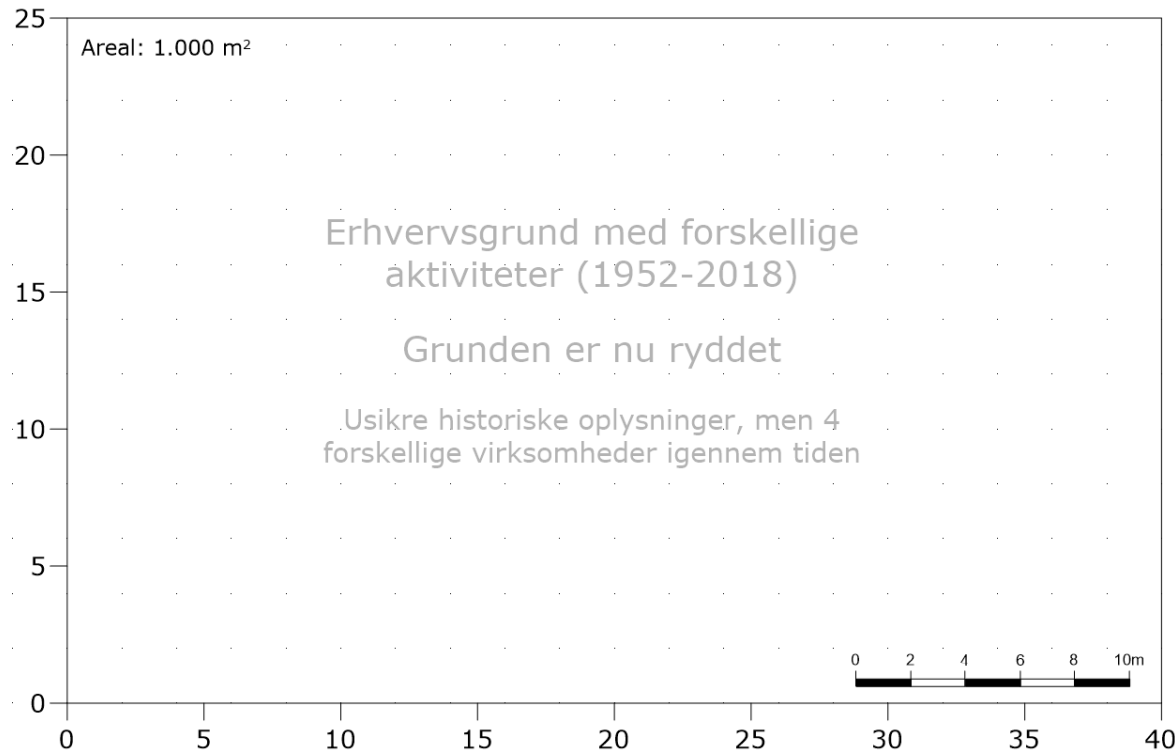


Socrative input fra jer



Først har jeg brug for jeres hjælp – så "spil" med 😊

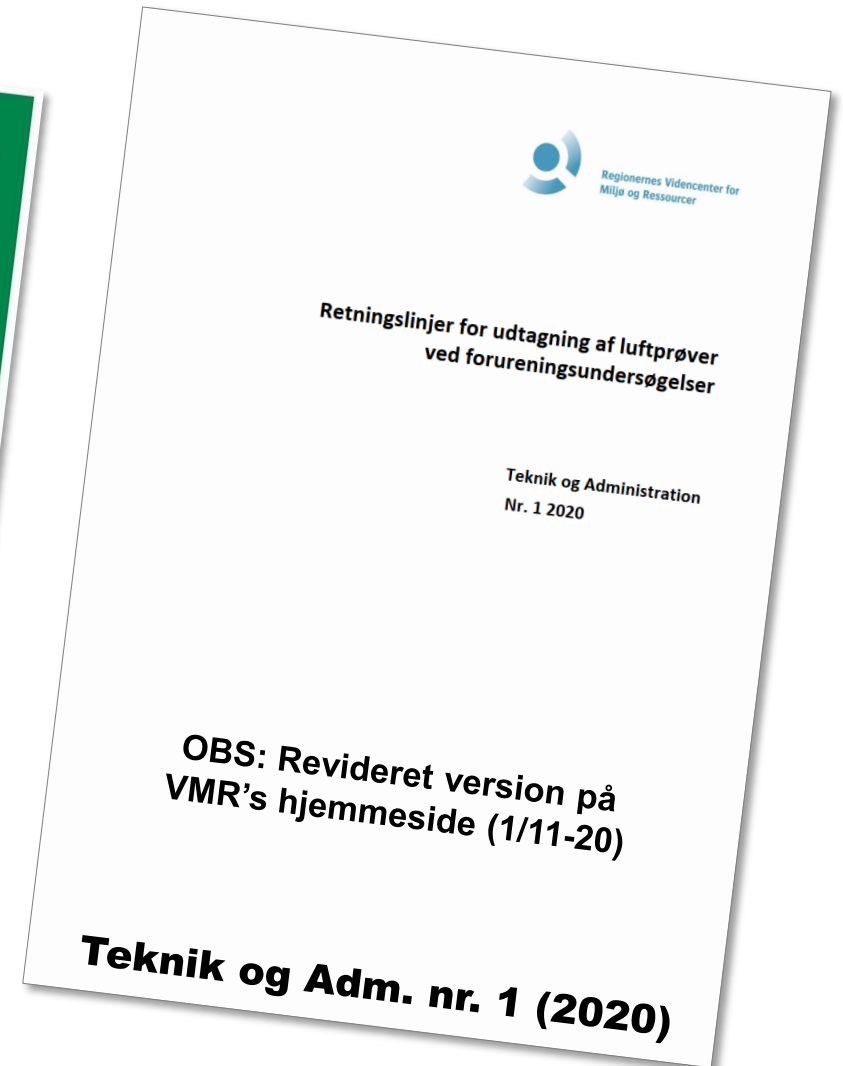
- Der er ingen rigtige eller forkerte svar ... og der er fuld anonymitet.



- Hvor mange poreluftprøver skal vi udtage i en poreluftscreening?
 - Der har været håndteret chlorerede opløsningsmidler på grunden.
 - Der har kun været håndteret olieprodukter på grunden.

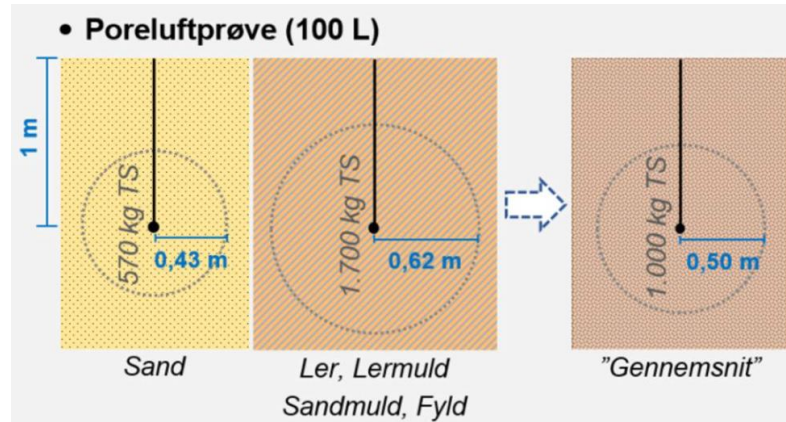
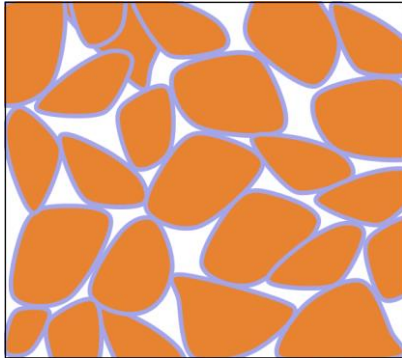
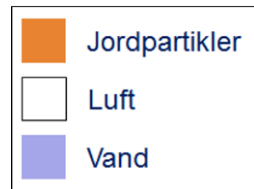
Hvad ved vi?

- Vi skal have det samme vidensniveau – neddyk i 3 x litteratur:

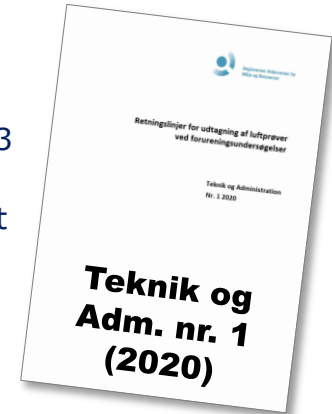


Størrelsen på en 100 L poreluftprøve

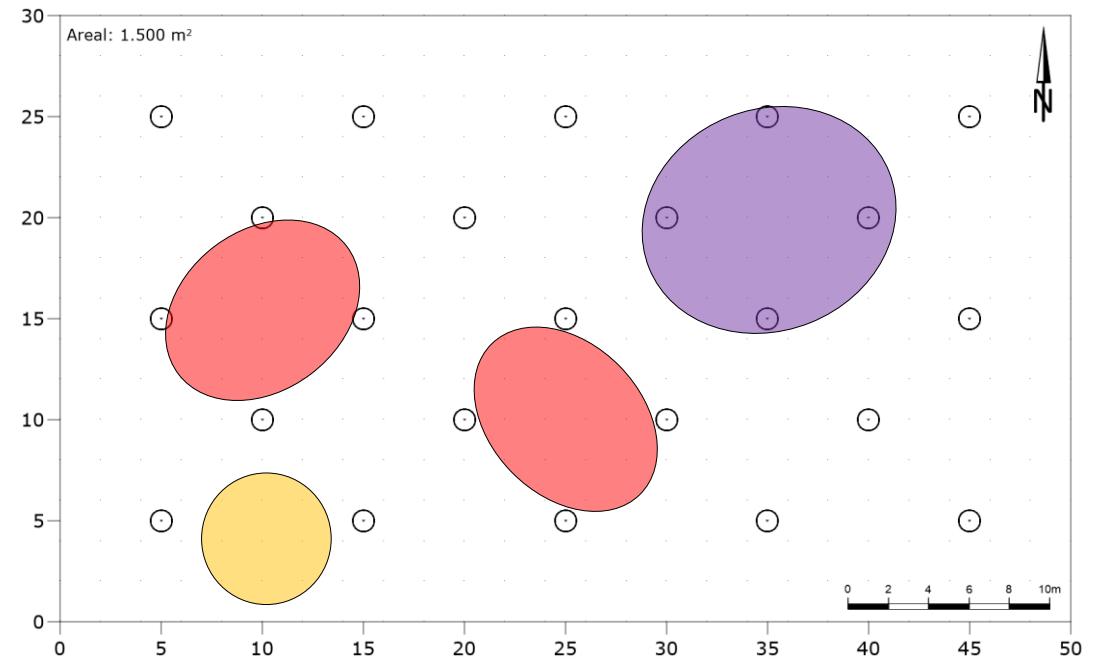
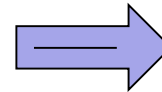
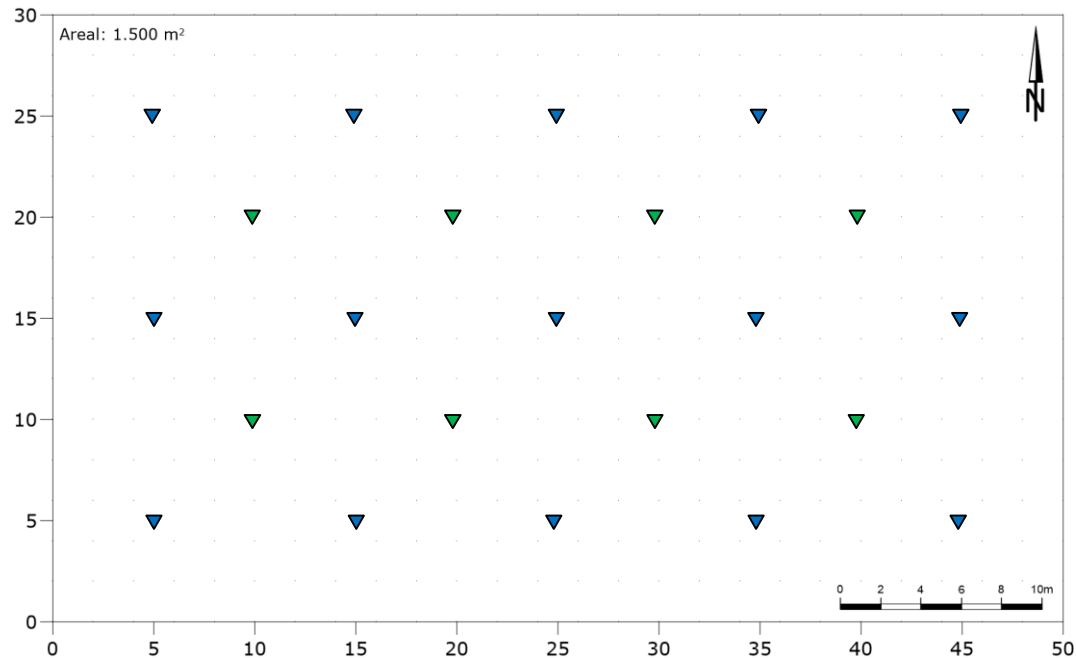
- Poreluftprøven har en størrelse:



$$V = \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot r^3$$
$$V_{\text{jord}} \approx 5 \cdot V_{\text{luft}}$$



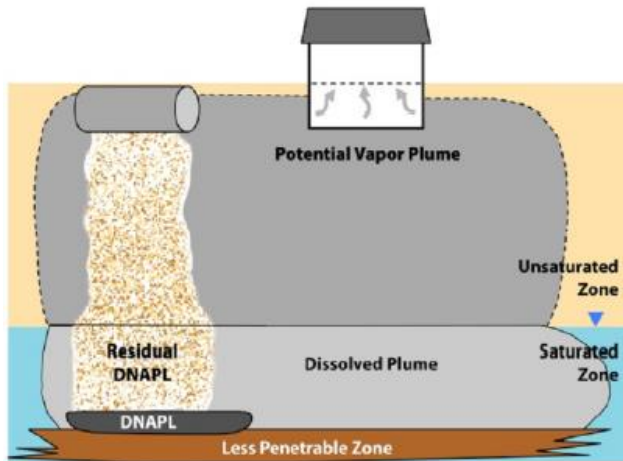
Figur 4.6 Illustration af prøvetagningsradius og jordmængde for en 100 liters poreluftprøve, udtaget i 1 meters dybde i forskellige jordtyper, jf. standardparametre i JAGG 2.1 /26/.



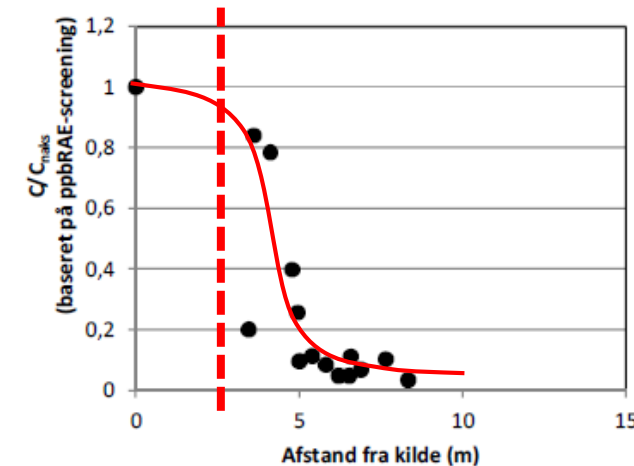
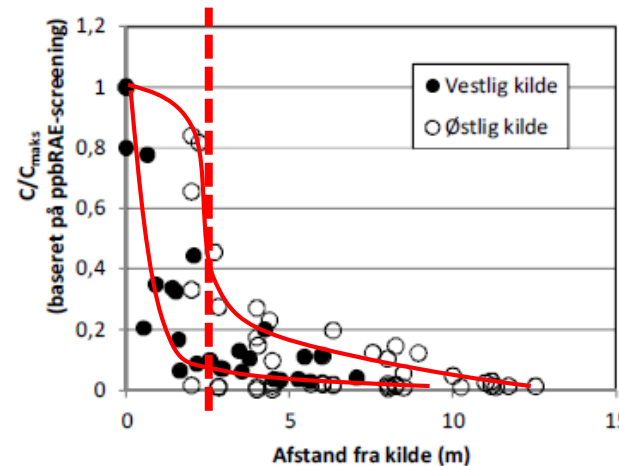
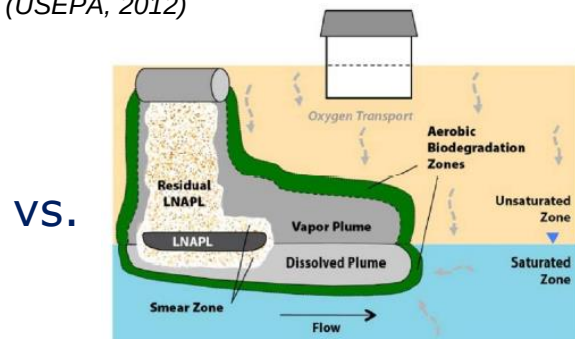
Poreluftskyens størrelse (chlorerede)

- Poreluftskyen omkring en "jordforurening" med chlorerede opløsningsmidler har større radius end for en olieforurening.

1. De chlorerede opløsningsmidler har samme høje flygtighed over hele kildens levetid.
2. De chlorerede opløsningsmidler er generelt ikke udsat for naturlig nedbrydning i terrænnære jordlag.



REF: Petroleum hydrocarbons and chlorinated hydrocarbons differ in their potential for vapor intrusion (USEPA, 2012)

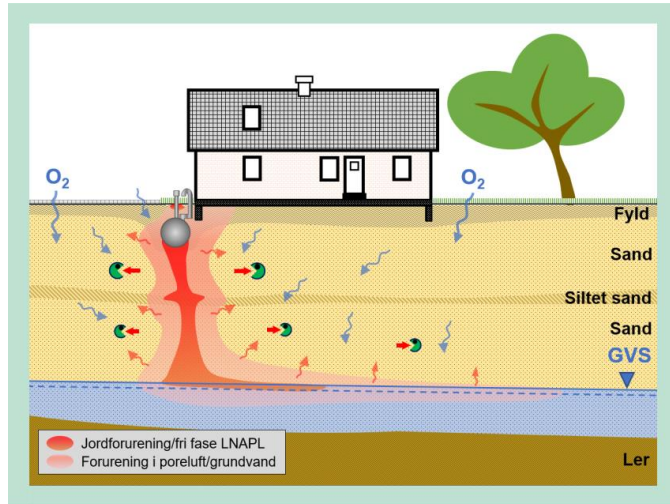


=2,5 meter

- Koncentrationen reduceret til 10-20% ca. 2-10 meter fra kilden/indholdet i jorden.

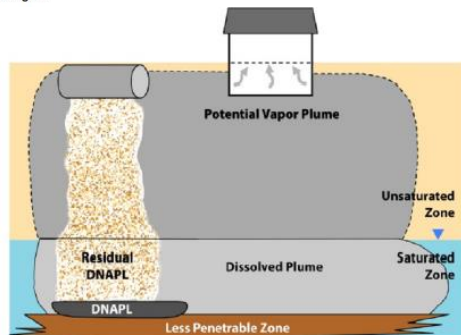
Poreluftskyens størrelse (olie / TVOC)

- Poreluftskyen omkring en olieforurening har mindre radius end for en "jordforurening" med chlorerede opløsningsmidler.

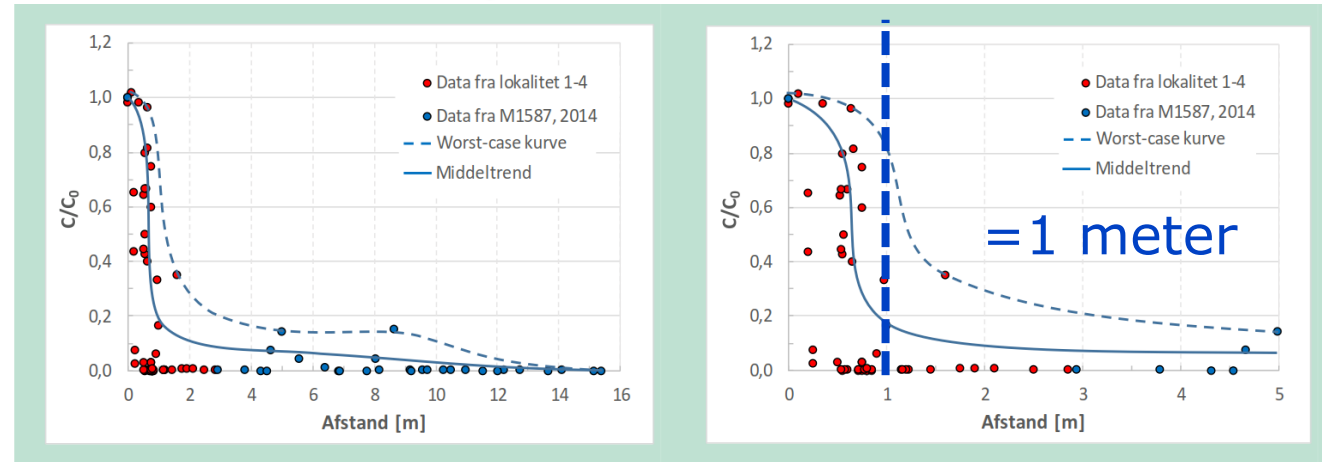


FIGUR 2. Konceptuel forståelse af poreluftforurening med fyringsolie i en sandet, umættet geologi. Geniltning er tilstrækkelig til sikre biologisk nedbrydning og en begrænset udbredelse af poreluftforureningen.

VS.



1. Olieforureninger "taber flygtighed" over tid. De mest flygtige dele damper hurtigt af.
2. Olieforureninger er generelt udsat for naturlig nedbrydning i terrænnære, iltede jordlag.

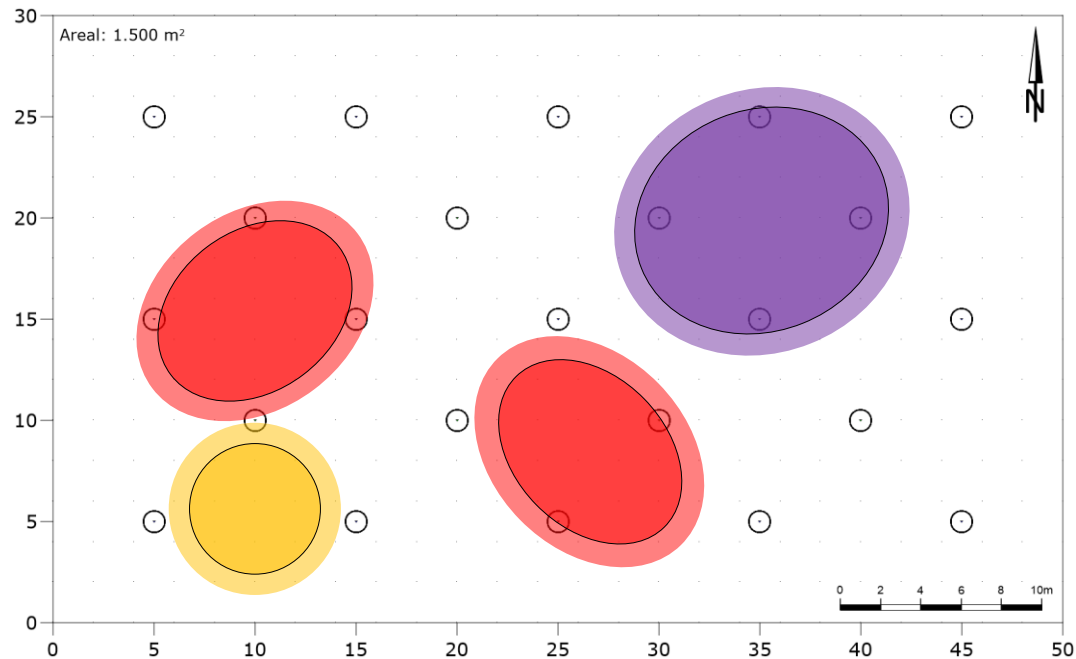


- Koncentrationen reduceret til $<20\%$ indenfor 1 m fra kilden.
- Maks konc. >1 m fra kilden er $2.800 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

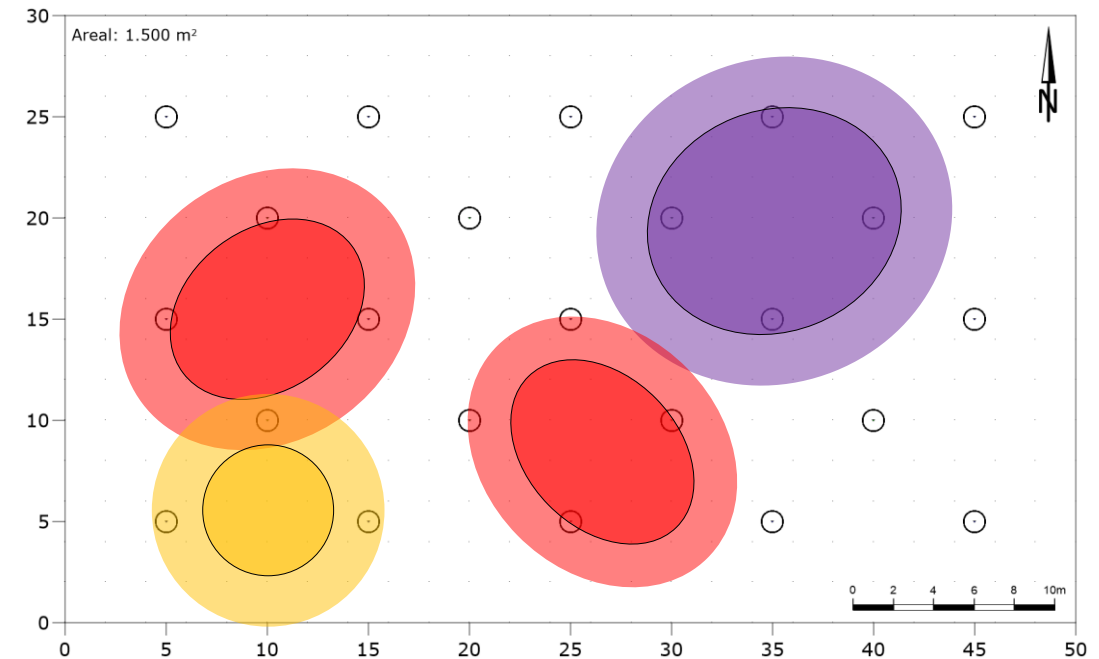
Poreluftskyens størrelse

- Jordforureningen bliver lettere at finde ved en poreluftscreening, når poreluftskyen er stor.
- Samtidig bliver det lettere at finde en given/lille jordforurening.

Olieforurening (1 m radius)

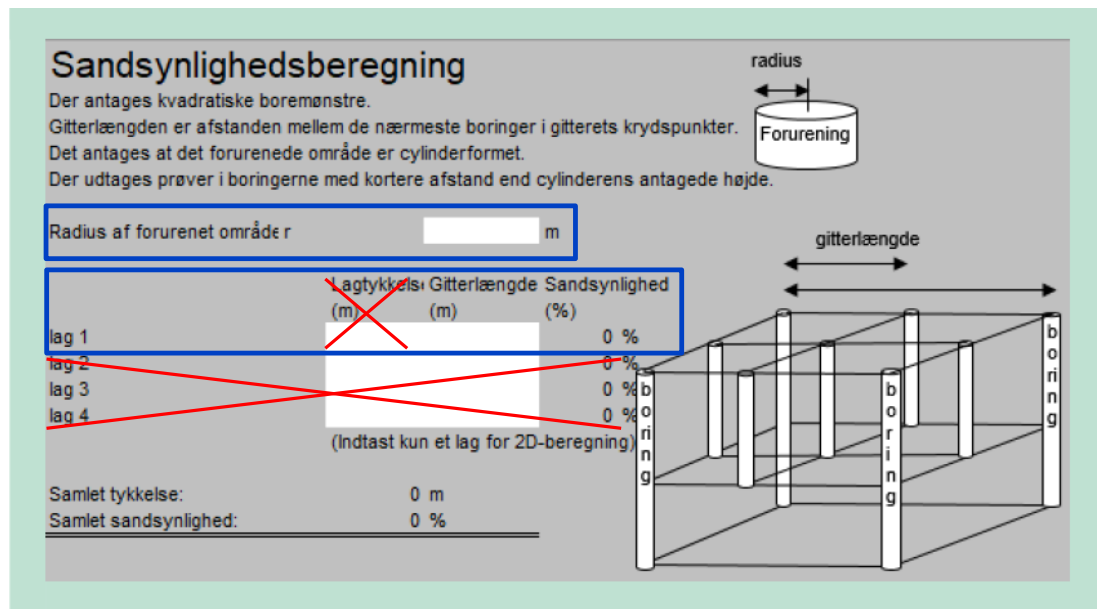


Chlorerede opl. (2,5 m radius)

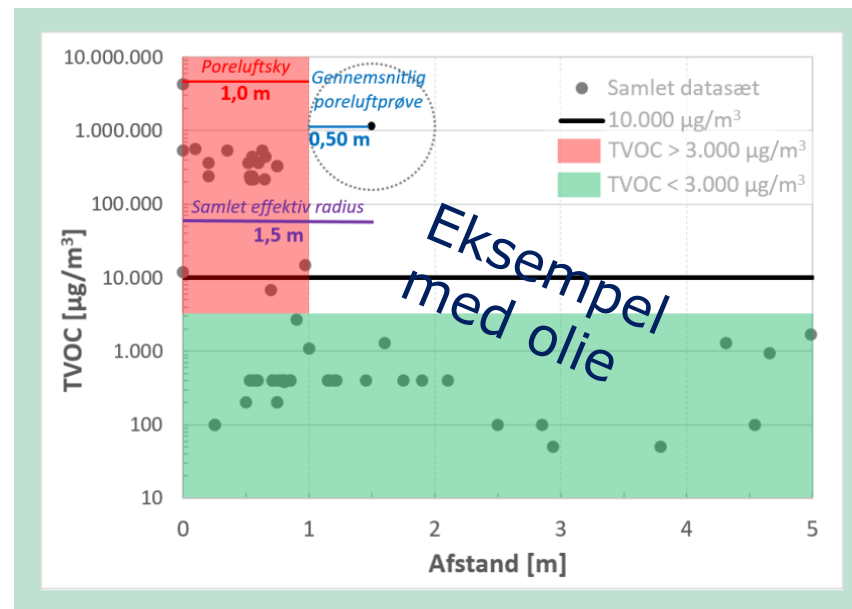


Poreluftscreening ift. kilde i jord - metode

- Brug af modulet sandsynlighedsberegning i JAGG 1.5.

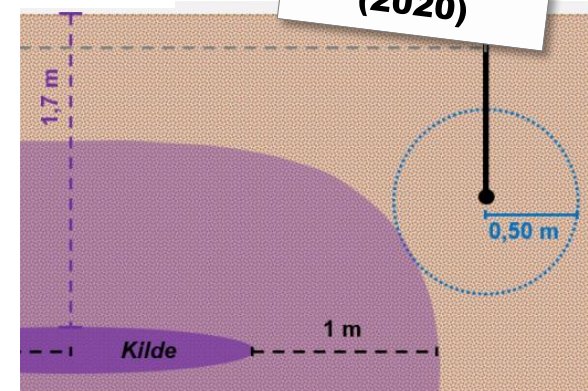


FIGUR 10. Modulet til sandsynlighedsberegning i JAGG 1.5, /9/.



FIGUR 11. Samlet effektiv radius = 1,5 m (1 m for porelufts sky + 0,5 m for poreluftprøve).

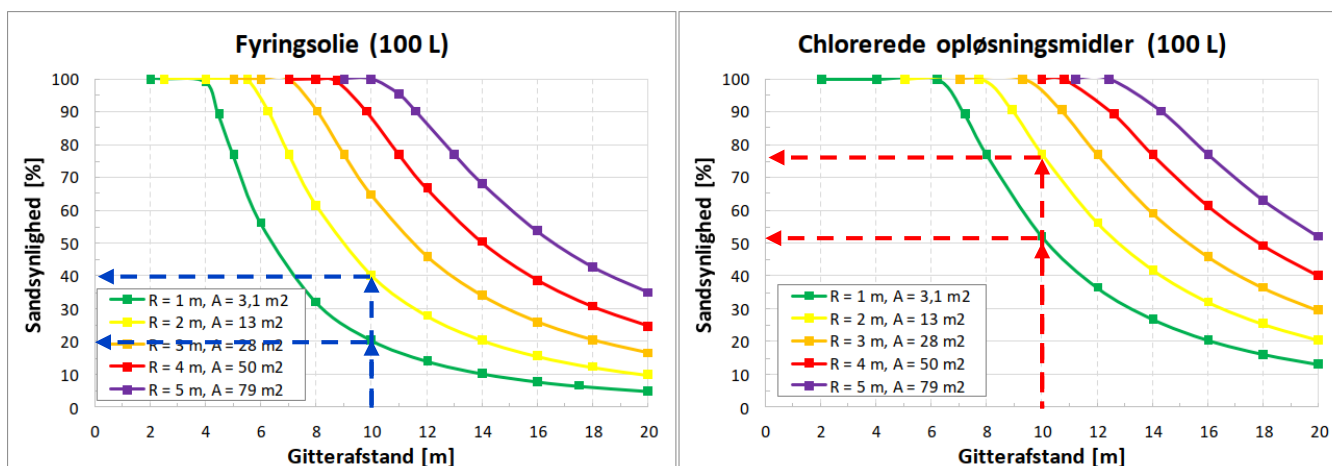
- Ét-lags model i JAGG 1.5.
- $R_{\text{forurening}} + 1,5 \text{ m (olie) \& } + 3 \text{ m (chlorerede)}$.
- Screeningsdybden skal afpasses kildedybden:



Figur 5.3 Kildens dybdemæssige placering (top) må maksimalt ligge 1,7 m u.t.

Poreluftscreening ift. kilde i jord - resultater

- "Jordforurening" betyder ikke nødvendigvis jord.konc. > JKK.
 - Blot en kilde (i jord) som giver et tilstrækkeligt signal i poreluften.
- Når vi screener i poreluften, så taler vi ikke rigtig om koncentrationsniveauer – blot om "hit or miss".

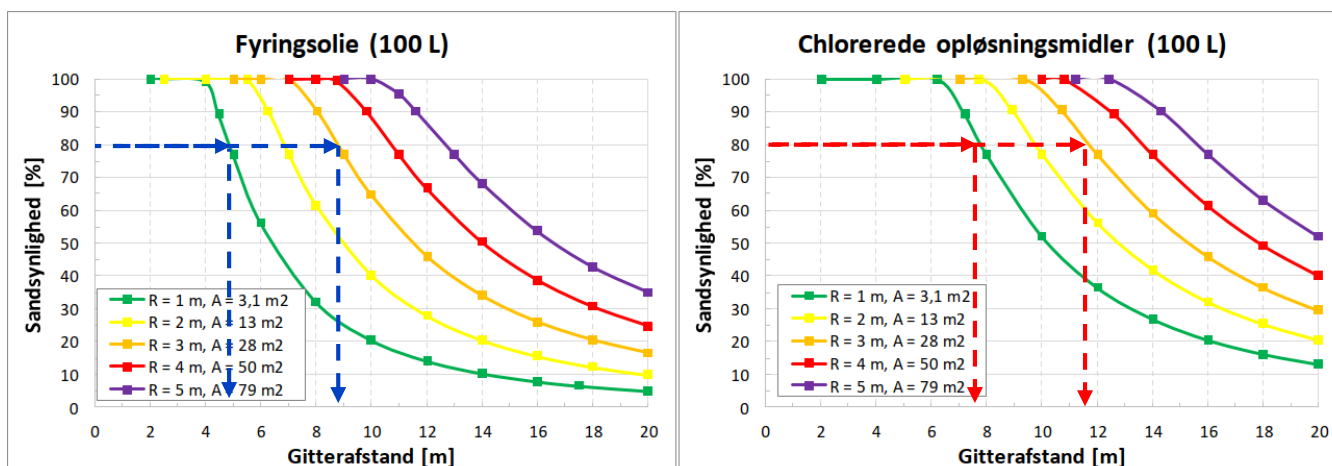
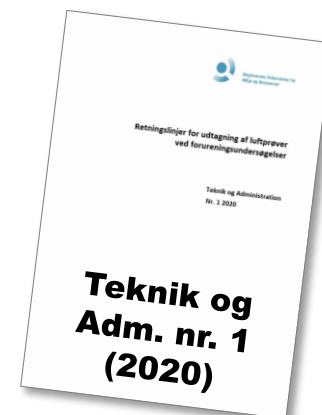


Figur 5.2 Sandsynlighed for at lokalisere et kildeområde med fyringsolie (til venstre) og chlorerede opløsningsmidler (til højre) via poreluftsprøver (100 L), estimeret via modulet Sandsynlighedsberegninger i JAGG 1.5 /99/. Der er regnet med en effektiv radius for poreluftsken omkring et kildeområde på hhv. 1 meter for fyringsolie, /26/ og 2,5 meter for chlorerede opløsningsmidler.

- Poreluftpunkter placeret i et grid på 10·10 meter giver f.eks.:
 - ~20% sandsynlighed for at finde olieforurening med $R=1$ m ($3,1 \text{ m}^2$).
 - ~40% sandsynlighed for at finde olieforurening med $R=2$ m (13 m^2).
 - ~52% sandsynlighed for at finde chlorerede med $R=1$ m ($3,1 \text{ m}^2$).
 - ~77% sandsynlighed for at finde chlorerede med $R=2$ m (13 m^2).

Poreluftscreening ift. kilde i jord - resultater

- Vi kan også bruge redskabet "den anden vej", hvor udgangspunktet er en ønsket sikkerhed.
- Og resultatet er den gridstørrelse vi skal benytte.



Figur 5.2 Sandsynlighed for at lokalisere et kildeområde med fyringsolie (til venstre) og chlorerede opløsningsmidler (til højre) via poreluftprøver (100 L), estimeret via modulet Sandsynlighedsberegninger i JAGG 1.5 /99/. Der er regnet med en effektiv radius for poreluftskyn omkring et kildeområde på hhv. 1 meter for fyringsolie, /26/ og 2,5 meter for chlorerede opløsningsmidler.

- Hvis vi vil være f.eks. 80% sikre på at finde en forurening med:
R=1 m (olie), så skal vi benytte en gridstørrelse på 4,9 m.
R=3 m (olie), så skal vi benytte en gridstørrelse på 8,8 m.
R=1 m (chlorerede), så skal vi benytte en gridstørrelse på 7,8 m.
R=3 m (chlorerede), så skal vi benytte en gridstørrelse på 11,7 m.

Poreluftscreening ift. kilde i jord – første add-on



- Fra forureningsradius til –masse og –volumen?
 - Det kan vi hvis vi antager en højde (f.eks. 1-3 meter),
 - og en gns.konc. (f.eks. 1.000 eller 2.500 mg/kg TS).

Eksempel med olie

		Volumen [m ³]				Jordmængde [tons våd jord]			
		H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m	H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m
R [m]	A [m ²]								
1	3,1	3,1	4,7	6,3	9	6,3	9,4	13	19
2	13	13	19	25	38	25	38	50	75
3	28	28	42	57	85	57	85	113	170
4	50	50	75	101	151	101	151	201	302
5	79	79	118	157	236	157	236	314	471
		Olie [kg] C = 1.000 mg/kg TS				Olie [kg] C = 2.500 mg/kg TS			
		H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m	H=1m	H=1,5m	H=2m	H=3m
R [m]	A [m ²]								
1	3,1	5,3	8,0	11	16	13	20	27	40
2	13	21	32	43	64	53	80	107	160
3	28	48	72	96	144	120	180	240	360
4	50	85	128	171	256	214	320	427	641
5	79	134	200	267	401	334	501	668	1001

FIGUR 13. Beregnede jordvolumener og jordmasser (våd vægt) samt produktmængde ved antagelse af en gennemsnitlig koncentration på hhv. 1.000 og 2.500 mg/kg TS. Beregningerne er udført for forskellige kombinationer af radius (R) og højde (H) for cylinderformede jordforureninger.

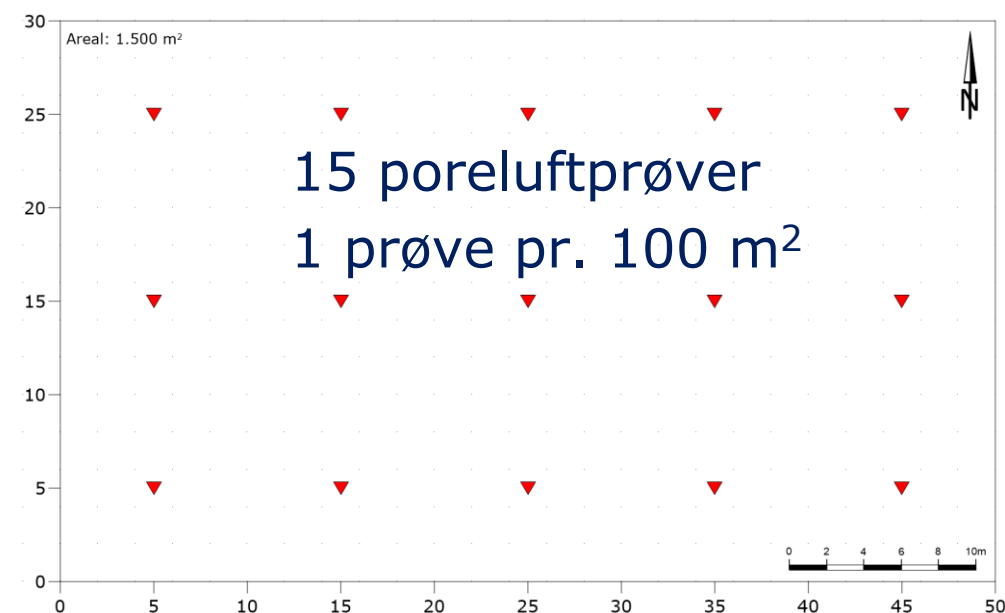
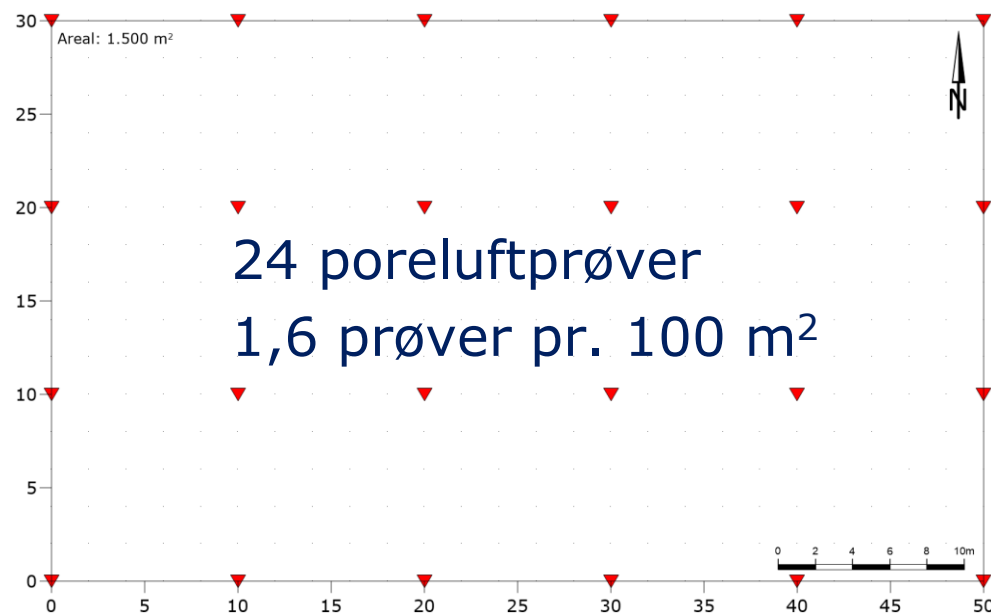
- Nu kan vi koble prøvetagningsstrategi med risiko for at overse forureningen af en given størrelse.

Hvis en 3.000 m² stor grund screenes med en gitterafstand på 20 meter (ca. 11 poreluftprøver), så er der 25% sandsynlighed for at lokalisere en jordforurening med en radius på 4 meter (areal = 50 m²); og 75% risiko for at overse den. ningen antages at have en højde/tykkelse på 1,5 meter er der tale om en jordmængde på ca. 150 tons (våd vægt) og ca. 130-320 kg olieprodukt (ved en gennemsnitlig koncentration på 1.000-2.500 mg/kg TS).

- Hvis vi vil være 90% sikre, skal vi screene med en gitterafstand på 10 m. En tilsvarende øvelse kan laves for chlorerede opløsningsmidler.

Poreluftscreening ift. kilde i jord – andet add-on

- At snakke om en gridstørrelse kan være lidt irriterende.
 - I sidste ende skal vi jo bruge et antal (pris).
- Kan vi ikke omregne til *antal* eller *antal pr. 100 m²*?
- Begge disse undersøgelser er udført med et grid på 10 m:



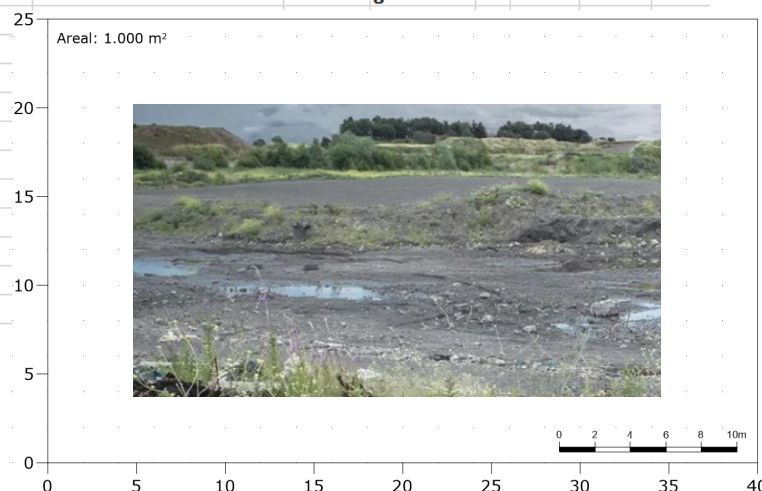
Gns. af de to yderpunkter er 20 punkter (1,3 pr. 100 m²)
Sådan kan vi omregne gridstørrelse til # og #/100 m².

Et lille regneark, der kan det hele



- Ovenstående metodik har jeg indbygget i et regneark.
 - Lad os prøve at lege med jeres svar fra i morges.

DMR® Poreluftscreening og sandsynlighed		
Oplysninger om lokaliteten <i>Areal antages rektangulært</i> Pris pr. PL-punkt 0 kr/PL Længde 40 m Bredde 25 m Areal 1.000 m ²		
Oplysninger om forureningen Forureningsvælger 2 1 eller 2 Forureningsstof CHLOR Forureningsradius (R) 1,0 m Forureningshøjde (H) 2,0 m Forureningsareal (A) 3,1 m ² R _(porelufts) 2,5 m Gns. Konc. (C _{gns}) 2 mg/kg TS R _(PL-prøve) 0,5 m R _(porelufts) Olie 1,0 m R _(porelufts) Chlor 2,5 m Gns. Konc (C _{gns}) Olie 2500 mg/kg TS Gns. Konc (C _{gns}) Chlor 2,0 mg/kg TS ρ _{jord,våd} 2,0 ton/m ³ ρ _b 1,7 ton TS/m ³ R _(PL-sky+PL-prøve) 3,0 m		
Ønsket sandsynlighed 80 % Resultater Nødvendig gitterafstand 7,8 m Gns. antal poreluftpunkter 21 stk. Pris 0 kr. Marginale omkostninger 0 kr./% Risiko 20 % For at overse 13 ton jord For at overse 0,02 kg produkt		



Sikkerhed og bagatelgrænser:
 Ønsket sikkerhed: XX %
 Bagatelgrænse olie: XX kg
 Bagatelgrænse chlorerede: XX kg



Og hvilken sikkerhed får vi ved screening af 1000 m² grund?
 – Antal prøver olie: XX
 – Antal prøver chlorerede: XX

Vi taster lidt i regnearket 😊

- Poreluftradierne gælder primært udenfor bygningers fodaftryk.
- Hvis man ser skyggen af noget bør det undersøges nærmere = flere prøver i området. Måske så man kun "skyggen" i den første prøve.
- Ikke stor sikkerhed for enhver pris!
- En lille undersøgelse giver ikke måske bare ikke en (ønsket) skarp formulering (specielt for olie og høj grad af sikkerhed).
- Fint med mindre undersøgelser og mindre skarpe formuleringer.
- Den viste metodik kan give et fælles grundlag for diskussion af sikkerhed.
- Usikkerhed er sikkerhedens "grimme tvilling"
– de er forbundne!



Tak for at I gad at lytte.