



Nye beregningsverktøy for forurenset grunn – risiko for helse og beregning av spredning

Miljøringens temamøte 16. mars 2022

Mona C. Hansen og Paul S. Cappelen, NGI

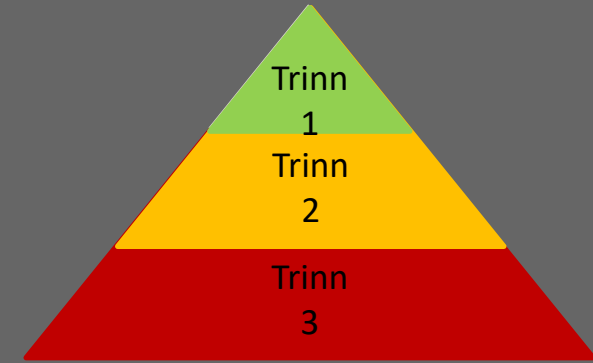
NGI-ere som har jobbet med veilederne

- ↗ Gijs Breedveld
- ↗ Hans Peter Arp
- ↗ Erlend Sørmo
- ↗ Amy Oen
- ↗ Mona C. Hansen
- ↗ Paul S. Cappelen



De nye veilederne

- Evaluering av gamle veiledere: hva er bra og bør tas med videre og hva må endres som følge av feil eller ny kunnskap?
- Tretrinns metodikk som også er kjent fra gammel veileder 99:01 og fra forurenset sediment (veileder M-409).
 - Trinn 1: Normverdibetraktning basert på forurensningsnivået i jordprøver, gjeldende areal/volum og konservative sjablongverdier forhåndsdefinert i regnearkene.
 - Trinn 2: Beregning for å bestemme risiko/spredning med et definert sett av stedsspesifikke data om lokaliteten.
 - Trinn 3: Supplerende undersøkelser og vurderinger med fokus på de mest kritiske parameterne som fremkommer i trinn 2.





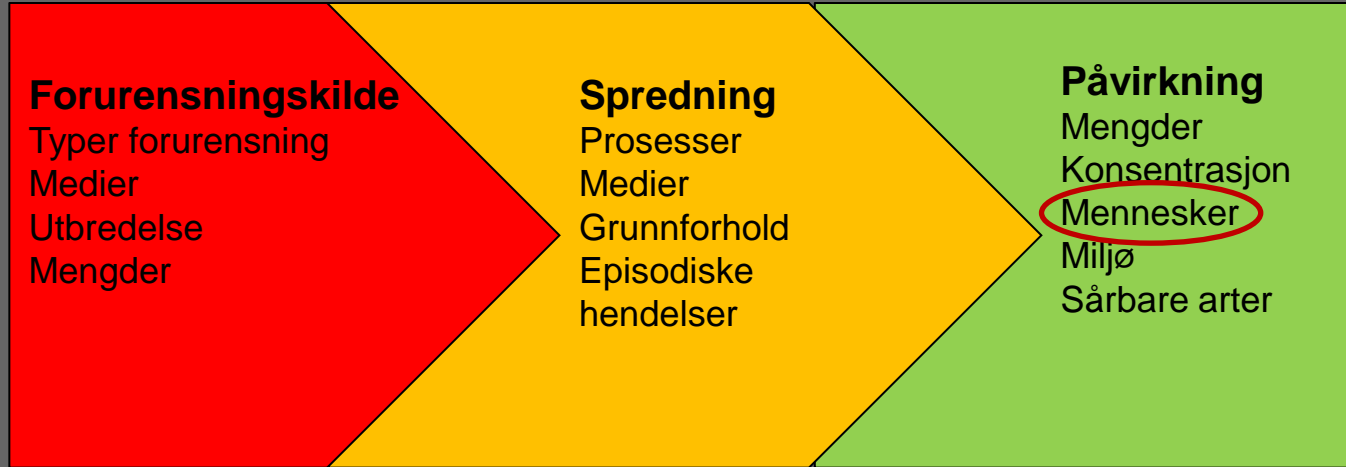
Verktøy for å vurdere risiko for menneskers helse fra forurenset grunn

M- 2170 Grunnlagsrapport

M - 2171 Beregningsverktøy

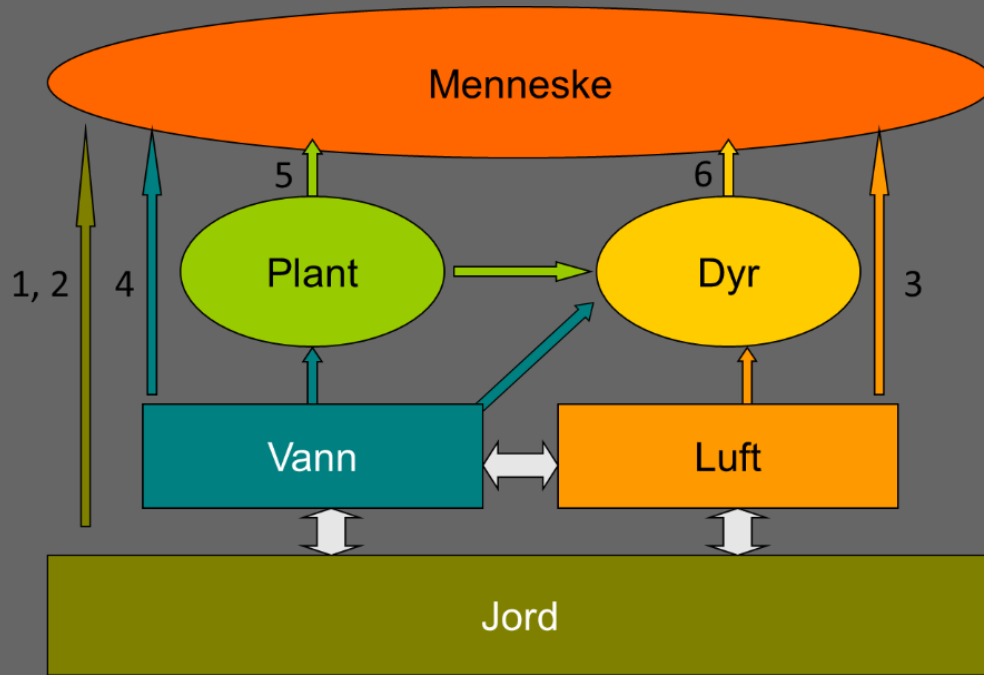


Prinsipp for risikovurdering



➤ Undersøkt systemene i Danmark, Nederland og Canada

Eksponeeringsveier for mennesker



1. Oralt inntak av jord eller støv
2. Hudkontakt med jord eller støv
3. Innånding av støv eller gass
4. Inntak av drikkevann
5. Inntak av grønnsaker, frukt, bær og andre spiselige planter
6. Inntak av fisk eller skalldyr fra nærliggende resipient

(inntak av kjøtt og melkeprodukter ikke inkludert der det ikke kan kobles til en lokalitet)

Vurdering av resultater

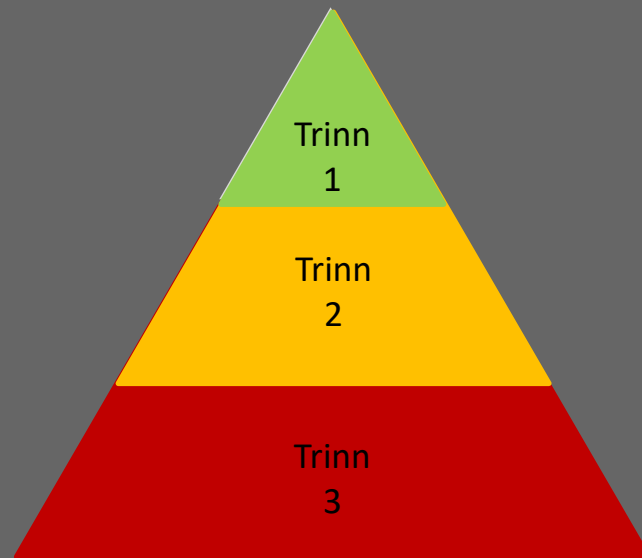
- Resultatene av estimert eksponering for et stoff sammenlignes med grenseverdier for human risiko Maximum Tolerable Daily Intake (MTDI)



Struktur på veilederen

Trinnvis risikovurdering:

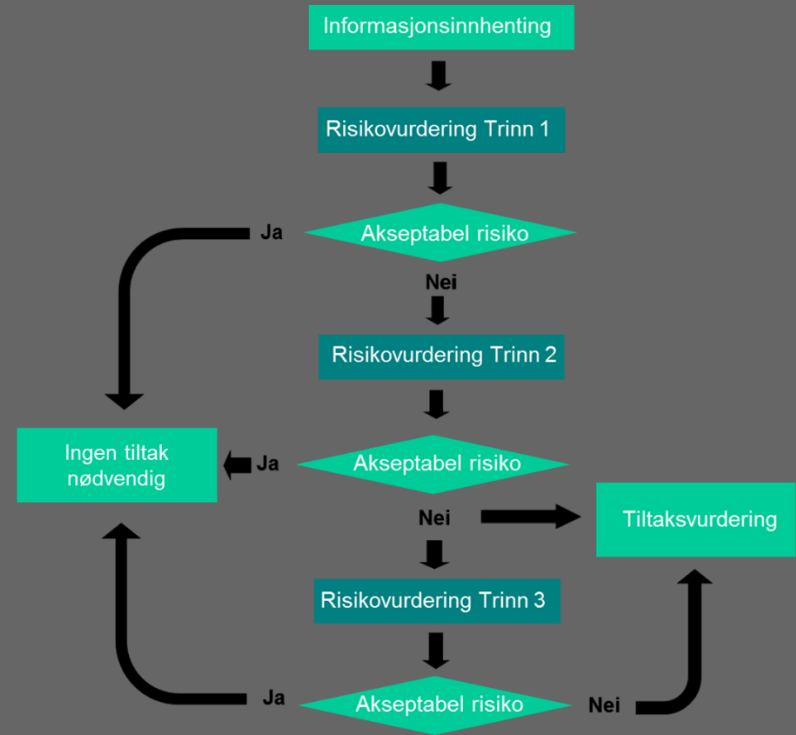
1. Sammenligning av resultatene med eksisterende normverdier*
2. Beregning av eksponering tilpasset til arealbruk og stedspekifikke forhold
3. Målinger for å supplere eksponeringsberegningene



* Normverdier er basert på en antatt standard eksponering

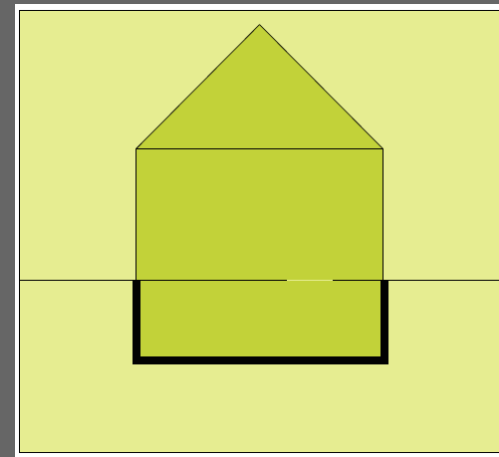
Fremgangsmåte (lik risikovurdering sediment M-409)

- Resultatene fra grunnundersøkelsene legges inn og gjennomsnitt og maksimum beregnes
- Eksponering beregnes og kan tilpasses til arealbruk
- Ved overskridelse av MTDI kan det suppleres med stedspesifikke målinger av de dominerende eksponeringsveiene som kan legges inn og erstatte estimerte verdier i verktøyet



De viktigste endringer

- ↗ Stoffdata oppdatert – inkludert MTDI fra FHI
- ↗ Fasefordeling justert
- ↗ Gasstransport av lett flygtige stoffer forbedret
 - Konvektiv og diffusiv transport (jordtype avhengig)
 - Type gulv
 - Avstand til forurensning
- ↗ Eksponering beregnes for hver eksponeringsvei
- ↗ Sum av beregnet eksponering sammenlignes med MTDI
- ↗ Måleverdier kan erstatte beregnete verdier for de ulike medier (eks. drikkevann, inneluft, grønnsaker, fisk)



Stoffspesifikke parameter (NGI rapport 20160648-04-R)

Stoffparameter	Enhet	Mulig kilde
Henrys lov konstant (K_H)	dimensjonsløs	REACH database**
Fordelingskoeffisient jord/vann (K_d)	l/kg t.v.*	Kan utledes fra K_{ow} , (se REACH)
Biokonsentrasjonsfaktor fisk (BCF_{fisk})	l/kg v.v.*	Kan utledes fra K_{ow} , (se REACH)
Biokonsentrasjonsfaktor stengel ($BCF_{stengel}$)	l/kg v.v.*	Kan utledes fra K_{ow} , (se REACH)
Biokonsentrasjonsfaktor rot (BCF_{rot})	l/kg v.v.*	Kan utledes fra K_{ow} , (se REACH)
MTDI	mg/kg k.v./d*	REACH database**
MTDI kreft	mg/kg k.v./d*	REACH database**
Hud kontakt (f_{du})	dimensjonsløs	Verdier for lignende stoffer
Diffusjonshastighet luft (D_a)	m ² /h	Standard estimat = $3,6 \times 10^{-3}$

** <http://echa.europa.eu/information-on-chemicals/registered-substances> eller andre offentlige kilder som European food safety agency (EFSA) eller World health organisation (WHO)

Fasefordeling

Likevekt mellom fasene i grunnen

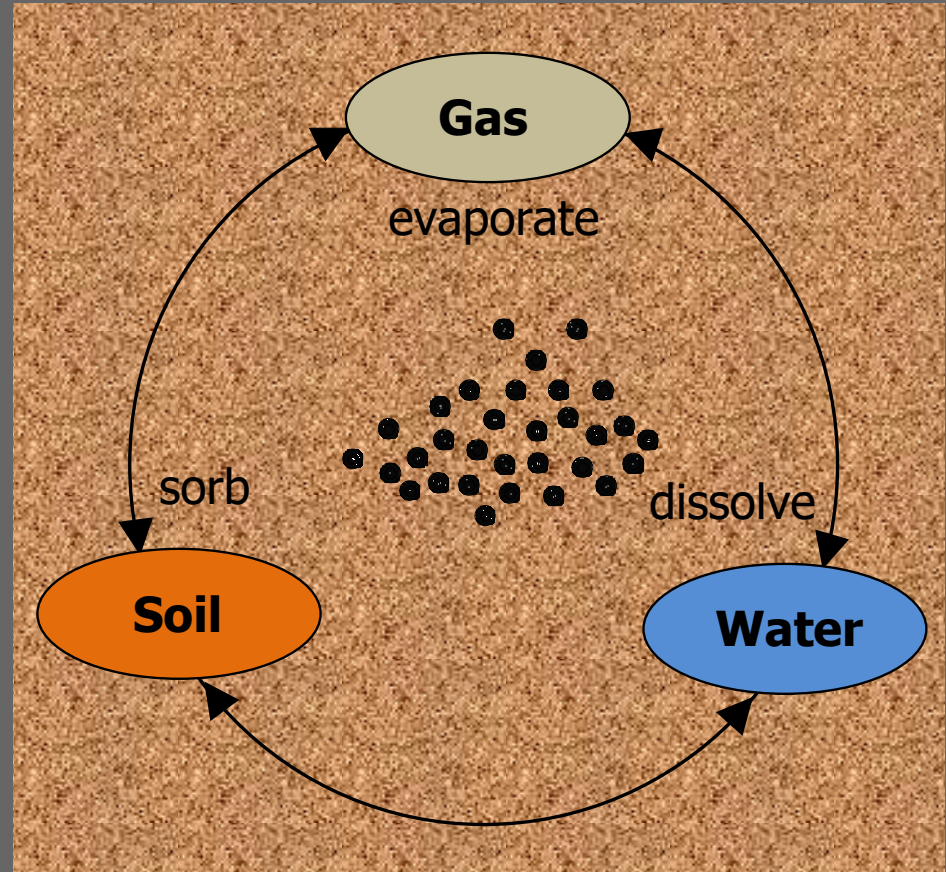
- Bundet til jord (C_{jord})
- Løst i porevann (C_{vann})
- Fordampet i poregass (C_{gass})
- Stoffspesifikke parameter:

Fordelingskoeffisient

$$- K_d = \frac{C_{jord}}{C_{porevann}}$$

Henry's lov koeffisient

$$- K_H = \frac{C_{gass}}{C_{porevann}}$$



Transportmodell - gass

- Total innlekkasje av jordluft summen av to transporttyper:
 - Diffusiv transport (kjemisk gradient)
 - Konvektiv transport (trykkgradient)
- Kan beregnes for flere sjikt av gulv og løsmasser
- Gulv antas å være et intakt, porøst sjikt

(Volasoil, RIVM, 2008)

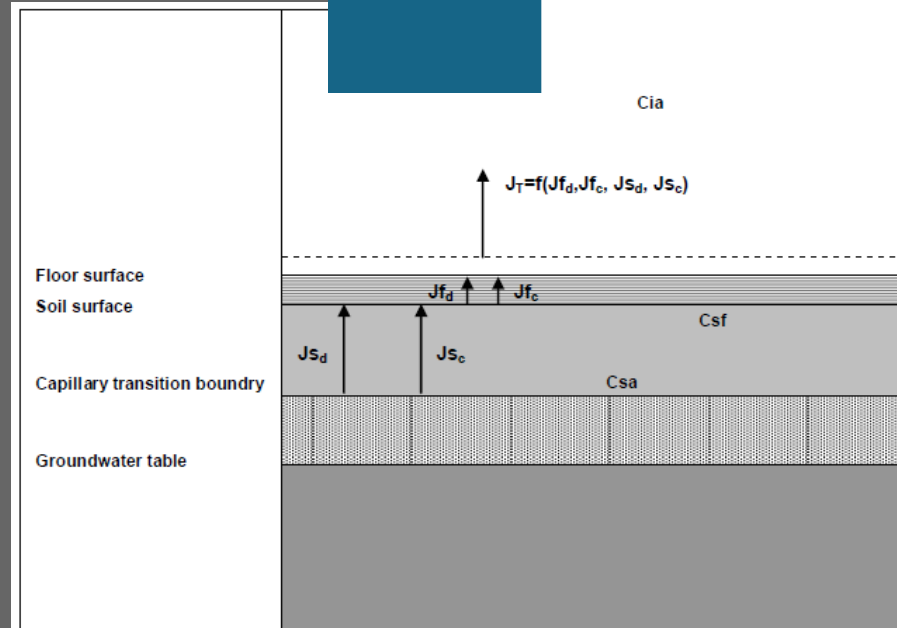


Figure 4-4: Combined diffusive and convective transport through both the unsaturated zone and the building floor. The dotted line is the transition boundary

Gasstransport

Justeres ved større dyp til forurensningen

Parameter justeres til lokale forhold

Parameter		Standard	Brukt	Enhet	Begrunnelse
Innvendig volum av huset	V_{hus}	240	240	m^3	
Areal under huset	A	100	100	m^2	
Utskiftingshastighet for luft i huset	l	12	12	d^{-1}	
Dybde fra kjellergulv til forurensning	Z	0,35	0,35	m	
Luftpermeabilitet jord	κ_s	1E-10	1E-10	m^2	Coarse sand (RIVM, 2008)
Luftpermeabilitet gulv	κ_f	1E-15	1E-15	m^2	Concrete (RIVM, 2008) --> κ_f dårlig gulv
Viskositet luft	η	6E-09	6E-09	$\text{Pa}\cdot\text{h}$	
Trykkforskjell, inneluft vs. jordluft	ΔP	1	1	Pa	Slab-on-grade/indoor (RIVM, 2008)
Tykkelse gulv	L_f	0,1	0,1	m	
Porøsitet gulv	n_{gulv}	0,135	0,135	m^3/m^3	Concrete (RIVM, 2008)
Gassfylt porevolum gulv	θ_a_{gulv}	0,135	0,135	m^3/m^3	Concrete (RIVM, 2008)

Vanntransport

Parameter		99:01	Ny	Enhet	Begrunnelse
Jordas hydraulisk konduktivitet	k	0,00001	0,0001	m/s	økt fra 10^{-5} til 10^{-4} m/s
		315,36	3153,6	m/år	
Fraksjon som Infiltrerer	FI	0,14	0,5	-/-	økt fra 0,14 til 0,50
Gjennomsnittlig årlig nedbørmengde	P	730	1500	mm/år	økt fra 730 til 1500 mm/år
Infiltrasjonsmengde (meter vann/år)	I	0,102	0,750	m/år	FI x P/1000
Vannføring i overflatevann	Q _{sw}	500000	5000000	m ³ /år	Vannføring i overflatevann
Bredden av det forurensende området vinkelrett på retningen av grunnvannsstrømmen	L _{sw}	7,35	50	m	Bredden av det forurensende området vinkelrett på retningen av grunnvannsstrømmen
Beregnet hastighet på grunnvannstrøming	Q _{di}	348	23652	m ³ /år	Beregnet hastighet på grunnvannstrøming

Andre transportveier (lik 99:01)

↗ Opptak i planter

- $C_{plant} = (BCF_{stengel} \times f_{blad} + BCF_{rot} \times f_{rot}) \times C_{pv}$

↗ Grunnvann som drikkevann

- Fortynningsfaktor porevann - grunnvann

$$C_{gw} = DF_{gw} \cdot C_w$$

- Standard hydraulisk konduktivitet, $k = 10^{-4}$ m/s
(var 10^{-5} m/s i 99:01)

↗ Fisk

- Fortynningsfaktor grunnvann – resipient

$$C_{sw} = DF_{sw} \cdot C_{gw}$$

- $C_{fisk} = BCF_{fisk} \times C_{sw}$

Eksposering (eksempel inntak av jord)

↗ Oralt inntak av jord

$$E_{is} = \frac{DI_{is} \times 10^{-6} \times C_s \times f_{exp}}{KV}$$

- E_{is} = eksposering som følge av daglig inntak av jord (mg/kg kv/d)
- DI_{is} = gjennomsnittlig daglig inntak av jord (mg jord/d).
- C_s = konsentrasjon i jord (mg/kg t.v.)
- f_{exp} = fraksjon eksposeringstid (d/år)
- KV = kroppsvekt (kg)

Eksponeeringskonstanter

Parameter	Barn	Voksen
Kroppsvekt (kg)	15	70
Alder (år)	0-6	7-64
Oralt inntak av jord (mg/d)	150	50
Hudkontakt med jord (mg/m ² /d)	5100	
Eksponert hudareal (m ²)	0,28	0,17
Pustevolum (m ³ /d)	7,6	20
Lungeretensjon støv (%)	75	75
Inntak av drikkevann (l/d)	1	2
Inntak av grønnsaker (kg/d)	0,15	0,29
Inntak av fisk (kg/d)	0,07	0,14

Eksponeeringstid (standardverdier)

Eksponeeringsvei	Dager/år	Timer/dag	Eksponeeringsfaktor
Eksponeeringstid for oralt inntak av jord (Barn)	365	24	1
Eksponeeringstid for oralt inntak av jord (Voksne)	365	24	1
Eksponeeringstid for hudkontakt med jord (Barn)	80	24	0,219
Eksponeeringstid for hudkontakt med jord (Voksne)	45	24	0,123
Oppholdstid utendørs (Barn)	365	24	1
Oppholdstid utendørs (Voksne)	365	24	1
Oppholdstid innendørs (Barn)	365	24	1
Oppholdstid innendørs (Voksne)	365	24	1
Fraksjon drikkevann fra arealet			100 %
Fraksjon grønnsaker fra arealet*			30 %
Fraksjon fisk fra nærliggende resipient.			100 %

Vurdering av risiko

$$\uparrow \sum E_{is} + E_{du} + E_{id} + E_{iv} + E_{iw} + E_{ig} + E_{if} = E_{he}$$

- E_{is} oralt inntak jord (intake soil)
- E_{du} hudkontakt med jord eller støv (dermal uptake)
- E_{id} innånding av støv (inhalation of dust)
- E_{iv} innånding av gass (inhalation of vapour)
- E_{iw} inntak av drikkevann (intake drinking water)
- E_{ig} inntak av grønnsaker, frukt, bær og andre spiselige planter
- E_{if} inntak av fisk eller skalldyr fra nærliggende resipient
- E_{he} total eksponering

$$E_{he} / \text{MTDI} < 1$$

$$E_{he} / \text{MTDI} > 1$$

Regneverktøy

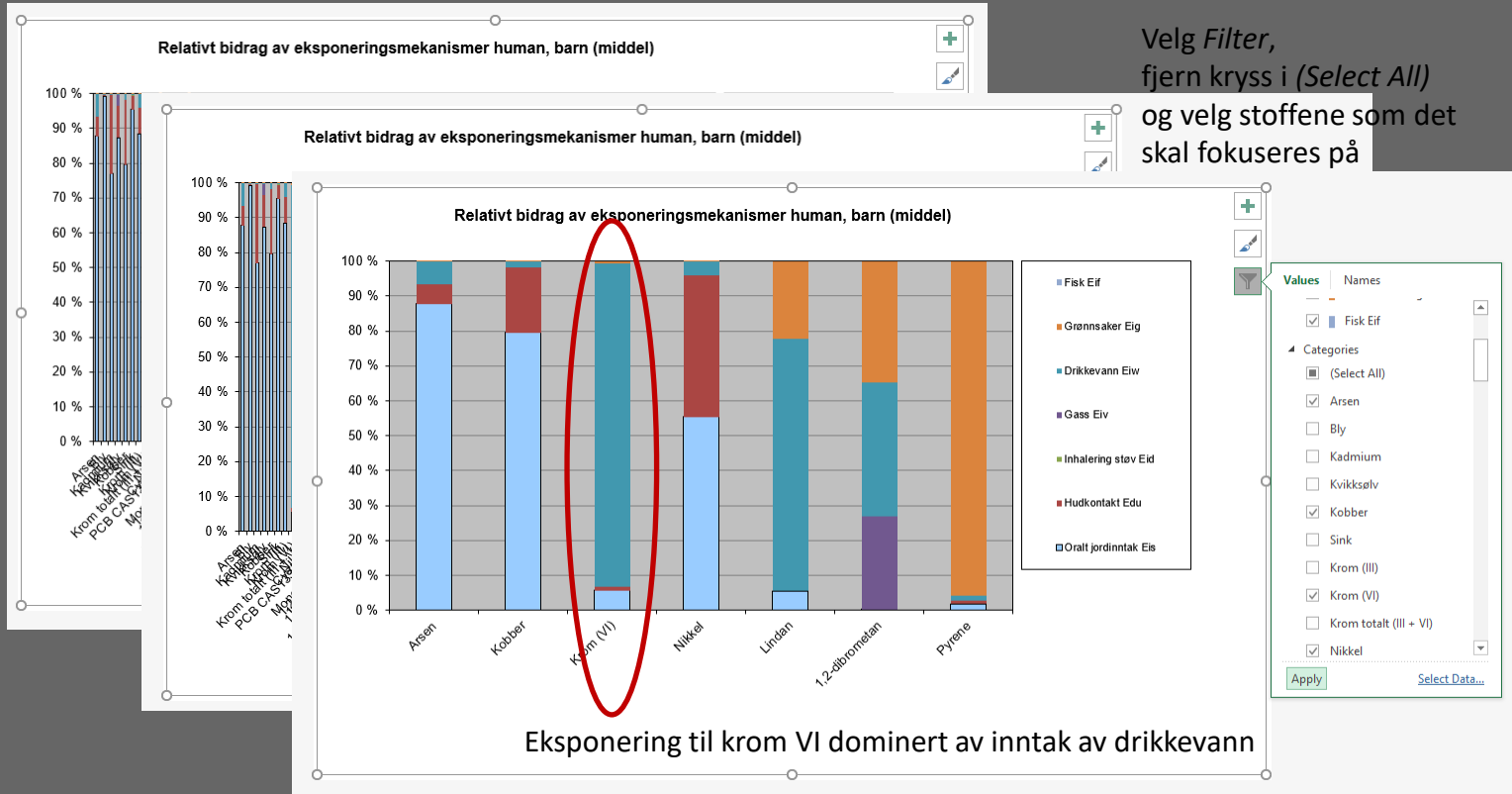
Risiko human-2020 rev0 2020-03-31.xlsx

- Legg in konsentrasjoner i jord (1 b.)
- Vurdering viser evt. overskridelse av MTDI ved standard betingelser
- Figur viser bidraget fra de ulike eksponeringsveier
- Vurdering kan justeres til stedspesifikke forhold (1 a.)
- Andre målinger kan legges inn (1 c.-1 h.)

Forslag til figurer

Brukerveiledning	
0 Sjekkliste	
1 a. Stedsspesifikk	
1 b. Konsentrasjoner i jord	
1 c. Konsentrasjoner i porevann	
1 d. Konsentrasjoner i poregass	
1 e. Konsentrasjoner i grunnvann	
1 f. Konsentrasjoner i inneluft	
1 g. Konsentrasjoner i grønnsaker	
1 h. Konsentrasjoner i fisk	
Fase fordeling	
Gass transport	
Vann transport	
Opptak i organismer	
Eksponering Barn	
Eksponering Voksen	
Livstids Eksponering	
Vurdering	
Stoffdata	
Revisjonsprotokoll	

Fig Eksponering Barn, TK 2



Eksempel Krom VI, TK2

Ark Eksponering Barn

Oralt inntak E_{is}	Hudkontakt E_{du}	Innånd. støv E_{id}	Gass E_{iv}	Drikkevann E_{iw}	Grønnsaker E_{ig}	Sum
Eksponering (mg/kg k.v./d)						
$5,0 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-6}$	$7,8 \times 10^{-8}$		$8,2 \times 10^{-4}$	$5,5 \times 10^{-6}$	$8,8 \times 10^{-4}$
$5,0 \times 10^{-5}$	$9,4 \times 10^{-6}$	$7,8 \times 10^{-8}$		0,0E+00	$5,5 \times 10^{-6}$	$6,5 \times 10^{-5}$
Relativt bidrag (%)						
5,7 %	1,1 %	0,0 %		92,6 %	0,6 %	100 %
77,0 %	14,5 %	0,1 %		0,0 %	8,5 %	100 %

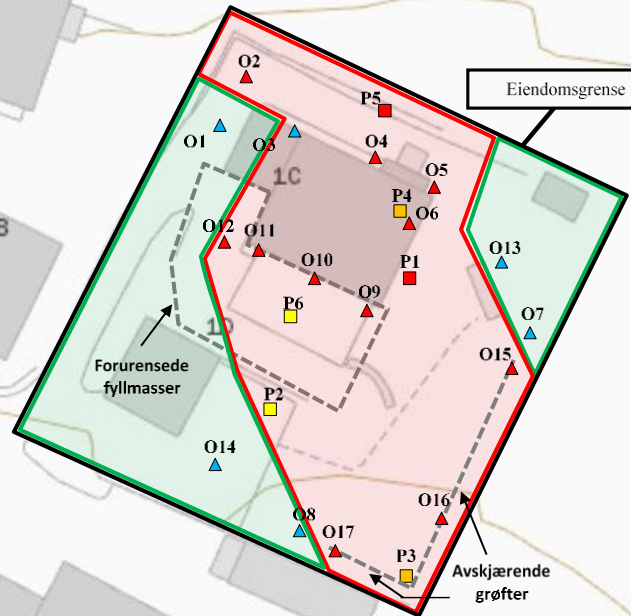
Uten drikkevann dominerer inntak av jord

Eksponering til krom VI dominert av inntak av drikkevann

Eksempel – Bensen under hus

Tegnforklaring

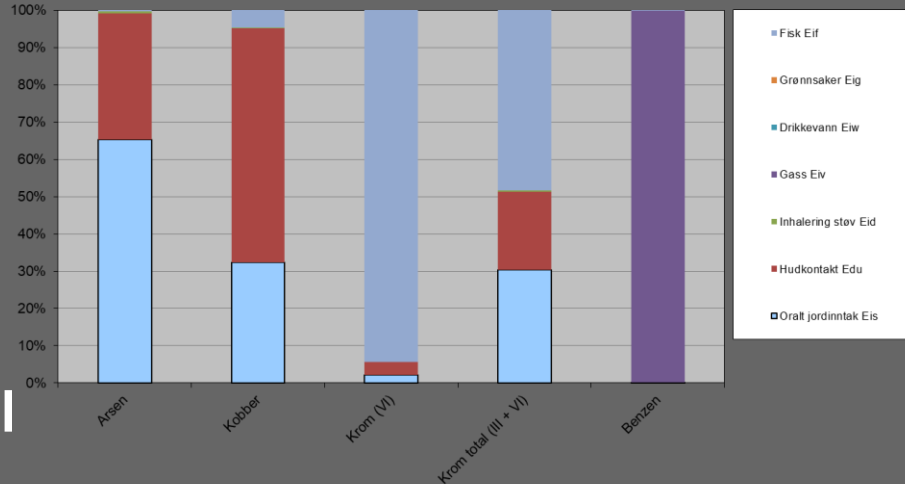
- Provepunkt (farget jf. tilstandsklasse)
- ▲ Observert tydelig forurensning
- ▲ Ikke observert tydelig forurensning
- Antatt forurenset område
- Antatt rent område



Beregninger av gass i bygg:

Veileder	Konsentrasjon i jord (mg/kg)	Konsentrasjon gass i inneluft beregnet (mg/m ³)	Beregnet akseptkriterie (mg/kg)	Grenseverdi arbeidstilsynet (mg/m ³)
99:01	Bensen 0,13 mg/kg 10 mg/kg	0,007 0,54		
Ny veileder M-2171	Bensen 0,13 mg/kg 10 mg/kg	0,030 2,3	0,23	3

Relativt bidrag av eksponeringsmekanismer human, voksen (middel)



Ikke alltid riktig å bruke arbeidstilsynets grenseverdier

Oppsummering

- ↗ Risikovurdering for human helse ved forurenset grunn er gjennomgått i Norge, Danmark, Nederland og Canada
- ↗ I forhold til eksisterende system (Veileder 99:01) er stoffdata, fasefordeling og gasstransport blitt oppdatert
- ↗ Konsentrasjoner som estimeres av verktøyet kan erstattes av målte verdier
- ↗ Eksponering via hver eksponeringsvei synliggjøres
- ↗ Total eksponering sammenlignes med MTDI verdien



Verktøy for å beregne spredning fra forurenset grunn

M-2172 Grunnlagsrapport

M-2173 Beregningsverktøy

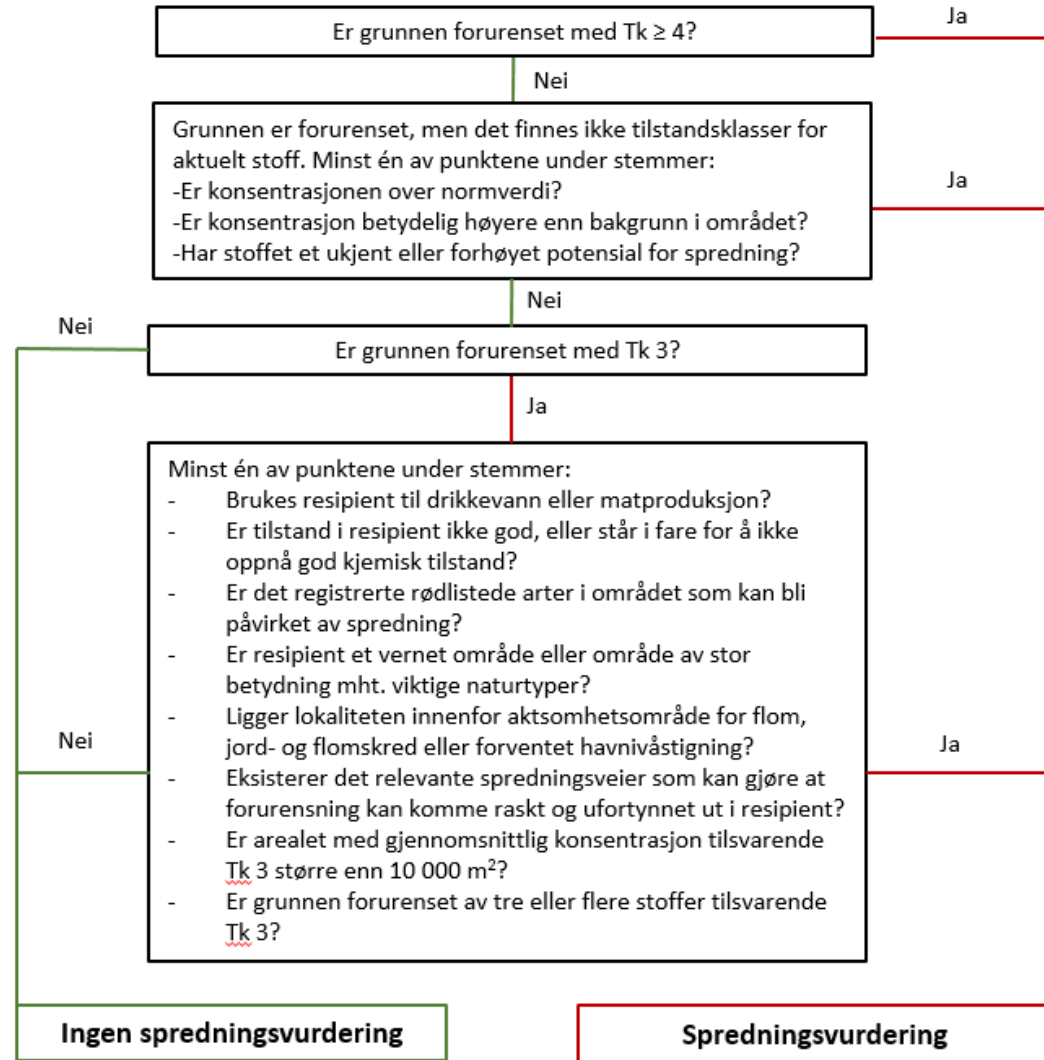
«Spredningsveilederen»

- ↗ Evaluering av det gamle «systemet»
 - Fokus på helse og ikke spredning
 - Enkelte svakheter, som utømmelig kilde
- ↗ Ny metodikk for spredningsvurdering
 - Når skal det gjøres en spredningsvurdering?
 - Trinnvis tilnærming
- ↗ Bruk av boksmodell
- ↗ Eksempler
- ↗ Usikkerheter/kritiske parametere



Forurensningsgrad og historikk	JA	NEI	Kilder til info	Kommentar / vurdering
Tidligere grunnundersøkelser geoteknikk og miljø samt relevant informasjon fra byggesaker (tiltaksplaner, sluttrap.)				
Overvåkingsdata for lokalitet				
Nåværende og tidligere virksomheter som kan ha forårsaket forurensning				
Kjente deponier eller fyllinger				
Informasjon om masser brukt til utfylling / arealutvinning				
Oljetanker og oljeutskillere, inkludert de som er fjernet / flyttet på				
Kjente forurensnings- eller akutte hendelser				
Forurensningens egenskaper				
Berggrunn og løsmasser (kvartærgeologi)				
Annen relevant informasjon kan spesifiseres				
Er det planlagte aktiviteter på eiendommen?	JA	NEI	Kilder til info	Kommentar / vurdering
Byggesak				
Terrenginngrep				
Endret arealbruk				
Andre tiltak				
Aktuelle spredningsveier	JA	NEI	Kilder til info	Kommentar / vurdering
Grunnvann, tidevann				
Overflatevann				
Kummer og rør, inkl. traseer som ikke er i bruk				
Drenering: går drens vann til overvann eller spillvann?				
Erosjon (inkludert flom, skred) eller annen partikkelspredning				
Masseforflytning utført av grunneier eller andre				
Resipientforhold og naturforhold	JA	NEI	Kilder til info	Kommentar / vurdering
Kjent forurensning i resipient (rapporterte vannkvalitets-, sjøbunn-, biotadata)				
Sårbar natur (rødlistede arter, vernede områder osv.)				
Miljøsmål / mål om tilstand i Vannforskriften				
Drikkevannskilder				
Matproduksjon				
Andre relevante forhold kan spesifiseres				
Episodiske hendelser og endringer i klima	JA	NEI	Kilder til info	Kommentar / vurdering
Risiko for flom/ras/stormflo og om klimaendringer øker denne risiko				
Økt erosjon og partikkelspredning som følge av hendelser med ekstremnedbør				
Endring i infiltrasjon fra økt nedbør og/eller snøsmelting				
Lokalitetens eller omkringliggende områders potensial som grunnvannsressurs				

Når skal det gjøres en spredningsvurdering?



Trinn 1

- +Konsentrasjoner av miljøgifter i jord
- +Areal av forurensning i grunnvannsretning
- +Boksmodell med sjablongverdier
- =Enkel, men konservativ spredningsvurdering

Trinn 2

- +Informasjon fra Trinn 1
- +Stedsspesifikke data som overstyrer et utvalg sjablongverdier
- +Kolloidial transport (hvis relevant)
- +Boksmodell med stedsspesifikke data/sjablongverdier
- =Mer kompleks og mindre konservativ spredningsvurdering

Trinn 3

- +Informasjon fra Trinn 1-2
- +Seksjonering/tilpasning av boksmodell
- +Stedsspesifikke nedbrytningsdata (hvis relevant)
- +Mer kompliserte modeller som overstyrer boksmodell
- =Kompleks og lite konservativ spredningsvurdering



Konservativisme

Kompleksitet

Trinn 1

- Boksmodellen brukes til å gjøre en konservativ vurdering basert på eksisterende datagrunnlag fra miljøteknisk grunnundersøkelse
- Vær bevisst i felt på informasjon du kan trenge i senere vurderinger

Boksmodell

Input:

- Totalkonsentrasjoner i jord
- Areal av forurenset område
- Innhold av TOC

Sjablongverdier:

- Nedbør
- Infiltrasjon
- Hydraulisk konduktivitet (permeabilitet)
- K_d
- Dybde til grunnvann
- Avstand til resipient
- Vannføring i resipient

Trinn 2

- Beregningene i boksmodellen forbedres med stedsspesifikke data
- Hvordan du finner kritiske parametere: se rapportens vedlegg B

Boksmodell

Input:

- Trinn 1 data
- Nedbør og infiltrasjonsfaktor
- Porevannsmåling metaller
- Hydraulisk konduktivitet (for jordart)
- Avstand til resipient
- Vannføring i resipient

Valgfri:

- Dybde til grunnvann
- Grunnvannsgradient/hastighet
- Konsentrasjoner i grunnvann/resipient
- Foretrukne spredningsveier/grøfter

Sjablongverdier:

- Verdier som ikke erstattes av stedsspesifikke data

Trinn 3

- Moduler i boksmodellen overstyres ved at det gjøres faktiske målinger i felt, eller ved at mer kompliserte modeller benyttes

Boksmodell

Input:

- Data fra Trinn 1 – 2
- Data fra stedsspesifikke undersøkelser av grunnvann og resipient
- Stedsspesifikke data om nedbrytning
- Data om foretrukne spredningsveier

Sjablongverdier:

- Verdier som ikke erstattes av stedsspesifikke data

eller

Dedikerte modellverktøy (f.eks. Modflow, PhreeqC)

Nytt verktøy (prinsipp)

1. Jordprøvene sammenlignes med normverdier og tilstandsklasser
2. Forventet konsentrasjon i porevann, grunnvann og bidrag til resipient beregnes i forhold til tid (uavhengig av tilstandsklasse)
 - Maksimumskonsentrasjon og tid til maksimumskonsentrasjon beregnes
 - Mengder som spres etter hhv. 5, 20 og 100 år estimeres
3. Stedsspesifikke parametere legges inn for trinn 2
4. Stedsspesifikke parametere måles i trinn 3

0 Sjekkliste skrivebordstudium

1 a. Stedsspesifikke data	input
1 b. Konsentrasjoner umettet jord	
1 c. Konsentrasjoner porevann	
1 d. Konsentrasjoner mettet jord	
1 e. Konsentrasjoner grunnvann	
1 f. Konsentrasjoner i resipient	

Mellomberegning

- 2 a. Prognose umettet jord
- 2 b. Prognose mettet jord
- 2 c. Prognose grunnvann
- 2 d. Prognose resipient

Figur beregninger

Figur-output

Stoffdata, inkl tilstandsklasser og EQS

Revisjonsprotokoll

Boksmodell

1. Umettet sone der forurensningen ligger.
 2. Mettet sone der grunnvannet transporterer forurensningen til resipienten.
 3. Resipienten som får tilført forurensningen.
- ↗ Tar hensyn til mengden forurensning som finnes i kilden og sorpsjon/desorpsjon samt fortykning på vei til resipient.
 - ↗ Beregner spredning av forurensning relatert til tid og estimerer maksimumskonsentrasjon i ulike medier, tiden det tar til denne konsentrasjonen nås og mengde forurensning som spres over tid.

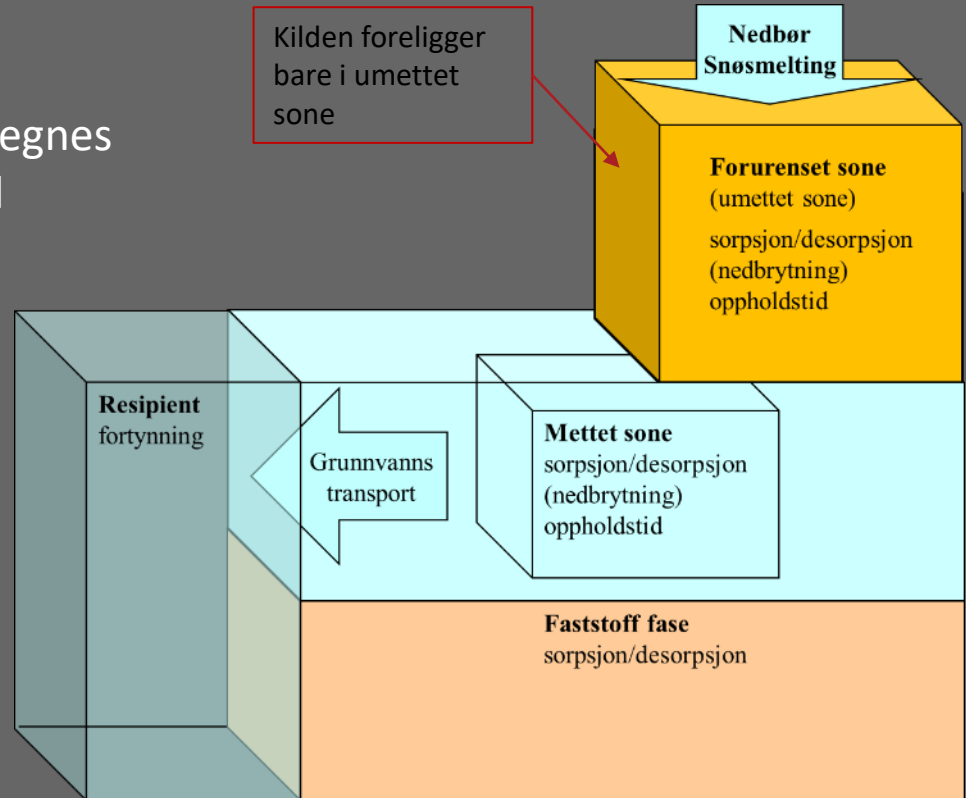
Nytt verktøy

- Utvasking fra kilden over tid
- Massebalanse er sentralt
- Oppholdstid i de ulike bokser beregnes
- Tilført mengde estimeres over tid



Nedbrytning inngår ikke i trinn 2

- Veldig variabel (stoff og jordart)
- Ingen standardverdier i litteraturen
- Kan inkluderes i Trinn 3 sfa. labforsøk og/eller feltobservasjoner



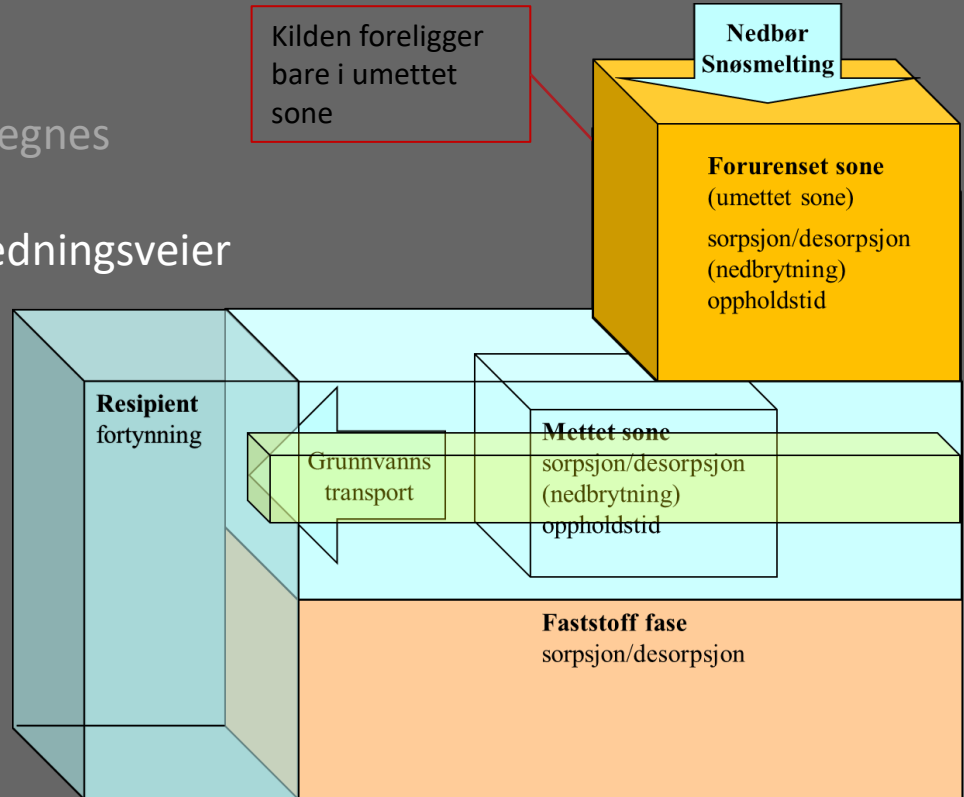
Nytt verktøy

- Utvasking fra kilden over tid
- Massebalanse er sentralt
- Oppholdstid i de ulike bokser beregnes
- Tilført mengde estimeres over tid
- Mulig å inkludere foretrukne spredningsveier



Nedbrytning inngår ikke i trinn 2

- Veldig variabel (stoff og jordart)
- Ingen standardverdier i litteraturen
- Kan inkluderes i Trinn 3 sfa. labforsøk og/eller feltobservasjoner

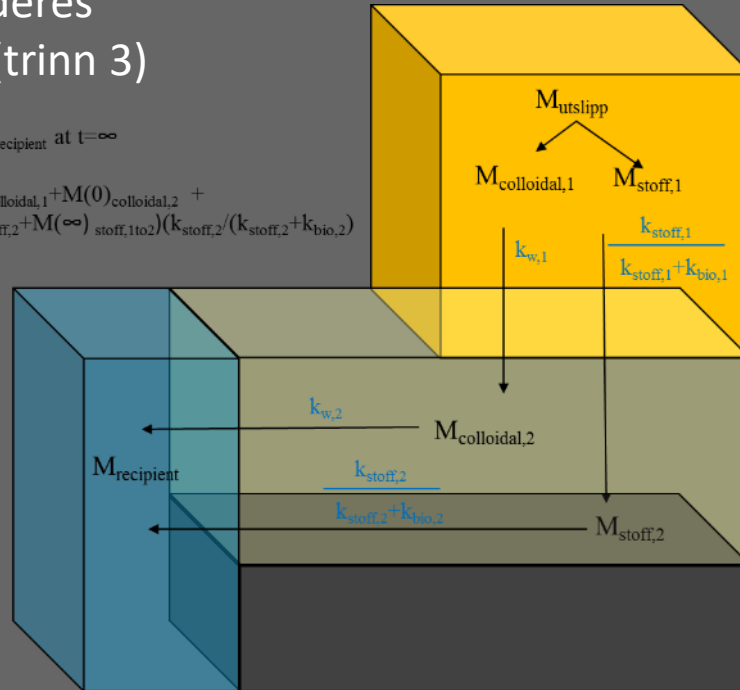


Nytt verktøy (grunnlag)

- Basert på overføringshastighet fra boks til boks
- Massebalanse er sentralt (kilden tømmes)
- Kolloidal transport kan inkluderes
- Nedbrytning kan inkluderes (trinn 3)

Total $M_{\text{recipient}}$ at $t=\infty$

$$= M(0)_{\text{colloidal},1} + M(0)_{\text{colloidal},2} + (M(0)_{\text{stoff},2} + M(\infty)_{\text{stoff},1 \text{ to } 2}) \left(\frac{k_{\text{stoff},2}}{k_{\text{stoff},2} + k_{\text{bio},2}} \right)$$



$$M(t)_{\text{stoff},1} = M(0)_{\text{stoff},1} e^{-(k_{\text{stoff},1} + k_{\text{bio},1})t}$$

$$M(t)_{\text{colloidal},1} = M(0)_{\text{colloidal},1} e^{-(k_w,1)t}$$

Detaljer finner du i grunnlagsrapporten, vedlegg D

Fra beregningsverktøyet – beskrivelsene av arkene

0 Sjekkliste	Dette arket er en sjekkliste som brukes ifm. skrivebordundersøkelsen (fase 1 kartleggingen). Det skal vises til hvilke kilder man bruker (gamle rapporter, nettsider, databaser, kart) og hvor man har innhentet informasjonen (innhentet selv eller fra eget arkiv, ev. mottatt fra oppdragsgiver, myndigheter eller andre). Valgene man tar skal begrunnes.
1 a. Spredningsmodell input	Dette arket gir brukeren muligheten til å legge inn stedsspesifikke data for lokaliteten som skal vurderes. Det foreligger sjablongverdier for de fleste parametrene, men i kolonnen "anvendt verdi" kan man legge inn andre verdier. Dette må i tilfelle begrunnes i kommentarfeltet.
1 b. Konsentrasjoner i umettet jord (mg/kg t.v.)	I dette arket skal målte jordkonsentrasjoner legges inn. Legg også inn navn på prøvene. Basert på det som legges inn, beregnes antall prøver, snittkonsentrasjon og maksimumskonsentrasjon for hvert stoff. Disse verdiene benyttes videre av regnearket. I tillegg beregnes forholdet mellom høyeste verdi og medianverdi for hver av stoffene det er lagt inn konsentrasjoner for. Dersom forholdet er lavere enn 2, tyder det på at datasettet gir en god beskrivelse av området og at det ikke skiller seg ut en prøve som kunne indikere en "hotspot".
1 c. Konsentrasjoner i porevann (mg/l)	I dette arket skal målte porevannskonsentrasjoner legges inn. Legg også inn navn på prøvene. Basert på det som legges inn, beregnes antall prøver, snittkonsentrasjon og maksimumskonsentrasjon for hvert stoff. Verdiene benyttes videre av regnearket til å beregne en steds spesifikk Kd verdi. Dersom det ikke er målt porevannskonsentrasjoner, vil regnearket benytte beregnet porevannskonsentrasjon ved bruk av Kd i Stoff liste
1 d. Konsentrasjoner i mettet sone (mg/kg t.v.)	I dette arket skal målte konsentrasjoner av løsmasser under grunnvannstanden (akviferen) legges inn. Legg også inn navn på prøvene. Basert på det som legges inn, beregnes antall prøver, snittkonsentrasjon, maksimumskonsentrasjon for hvert stoff. Verdiene benyttes videre av regnearket. Dersom det ikke er målt løsmassekonsentrasjoner i akviferen, beregner regnearket verdier ut i fra jordkonsentrasjon i umettet sone, fordelingskoeffisienter (Kd) og fortynningsfaktoren porevann-
1 e. Konsentrasjoner i grunnvann (mg/l)	I dette arket skal målte grunnvannskonsentrasjoner legges inn. Legg også inn navn på prøvene. Basert på det som legges inn, beregnes antall prøver, snittkonsentrasjon, maksimumskonsentrasjon for hvert stoff. Verdiene benyttes videre av regnearket. Dersom det ikke er målt grunnvannskonsentrasjoner, beregner regnearket verdier ut i fra jordkonsentrasjon, fordelingskoeffisienter (Kd) og fortynningsfaktoren porevann-grunnvann.
1 f. Konsentrasjoner i resipient (mg/l)	I dette arket skal målte resipientkonsentrasjoner legges inn. Legg også inn navn på prøvene. Basert på det som legges inn, beregnes antall prøver, snittkonsentrasjon, maksimumskonsentrasjon for hvert stoff. Verdiene benyttes videre av regnearket. Dersom det ikke er målt grunnvannskonsentrasjoner, beregner regnearket verdier ut i fra jordkonsentrasjon, fordelingskoeffisienter (Kd) og fortynningsfaktoren porevann-grunnvann.

Mellomberegninger	<p>Dette arket inneholder diverse mellomberegninger som må til for å beregne spredning . <i>Det skal ikke legges inn tall i dette arket.</i></p>		
2a. Prognose umettet jord (mg/kg t.v.)	<p>Dette arket beregner mengde og konsentrasjon av forurensningen i jordprøvene i umettet sone over tid.</p>		
2b. Prognose mettet sone (mg/kg t.v.)	<p>Dette arket beregner mengde og konsentrasjon av forurensningen i løsmasser i mettet sone over tid.</p>		
2c. Prognose grunnvann (µg/l)	<p>Dette arket beregner mengde og konsentrasjon av forurensningen i grunnvannet over tid og sammenligner med EQS/PNEC verdiene.</p>		
2d. Prognose resipient (µg/l)	<p>Dette arket beregner mengde og konsentrasjon av forurensningen i grunnvannet over tid og sammenligner med EQS/PNEC verdiene.</p>		
Figur - Beregninger (hide)	<p>Dette arket gjør beregningene som er nødvendig for å kunne vise figurere i output arket og skal være skylt i den endelige utgaven av verktøyet</p>		
Figur - Output	<p>Dette arket gir en oppsummering av sluttresultater for enkelt forbindelsene; stoff nummer må legges inn i øverste rad etter nummerering i ark 1b. Kons. umettet jord. Figuren viser jordkonsentrasjoner, grunnvanns og resipient konsentrasjoner over tid og sammenligner de med EQS/PNEC. Figuren til venstre viser faststoff: jord og løsmasser; figuren til høyere viser vann: porevann, grunnvann og resipient. Mengde spredd beregnes etter 5, 20 og 100 år.</p>		
Stoffdata	<p>Dette arket angir standardverdier for de ulike stoffene som spredningsveilederen omfatter. Det skal ikke legges inn egne verdier i dette arket med unntak av fraksjon kolloidal bundet dersom det skal fravikes fra 5% standarden.</p>		
Revisjonsprotokoll	<p>Dette arket viser revisjoner som er utført for regnearket.</p>		

	A	B	C	D	E	F
1	MÅLTE VERDIER	Ja	Nei			
2	Er det målt porevannskonsentrasjon? (sett kryss)		X	Hvis ja, legg inn målte konsentrasjoner i ark 1c		
3	Er det målt løsmassekonsentrasjon i mettet sone (akvifer)? (sett kryss)		X	Hvis ja, legg inn målte konsentrasjoner i ark 1d		
4	Er det målt grunnvannskonsentrasjon? (sett kryss)		X	Hvis ja, legg inn målte konsentrasjoner i ark 1e		
5	Er stedsspesifikk Kd/Koc kjent? (sett kryss)		X	Hvis ja, legg inn nedbryttingshastighet i ark "stoff" (koloner D-E)		
6	Er nedbryttingshastighet av utvalgte stoffer bestemt? (sett kryss)		X	Hvis ja, legg inn nedbryttingshastighet i ark "stoff" (koloner L-O)		
7	Er kolloidialbunnet fraksjon av utvalgte stoffer kjent? (sett kryss)		X	Hvis ja, legg inn nedbryttingshastighet i ark "stoff" (koloner P-R)		
8						

9 **UMETTET SONE GENERELLE PARAMETERE**

	Sjablong-verd	Anvendt verdi	Begrunnelse	
10	Grunnleggende jord parametere			
11	$f_{oc} (-)$	0,01	0,01	Målt i felt gj.snitt 1 % i fyllmasser
12	Bulkdensitet jord, ρ_{jord} [kg/dm ³]	1,7	1,7	Vanlig bulktetthet for sand
13	Effektiv porøsitet, ϵ	0,4	0,4	Øvre grense for sand / grus masser
14	Vannfylt porevolum i umettet sone (m ³ /m ³)	0,2	0,2	Halvparten av porevolumet konservativt høy
15	Generelle områdeparametere			
16	Lengde forurensingsoverflate i grunnvannsretning (m)	50	50	Standard areal 2 500 m ²
17	Bredde forurensingsoverflate på tvers av grunnvannsretning (m)	50	50	Standard areal 2 500 m ²
18	Dybde til grunnvann (m)	4	4	Konservativt, stor mektighet av forurensningen
19	Nedbør (mm/år)	1500	1500	Konservativ høy verdi for sentrale strøk
20	Fraksjon av nedbør som infiltrerer	0,8	0,8	Maksimumverdi for grus uten evapotranspirasjon
21				

22 **METTET SONE GENERELLE PARAMETERE**

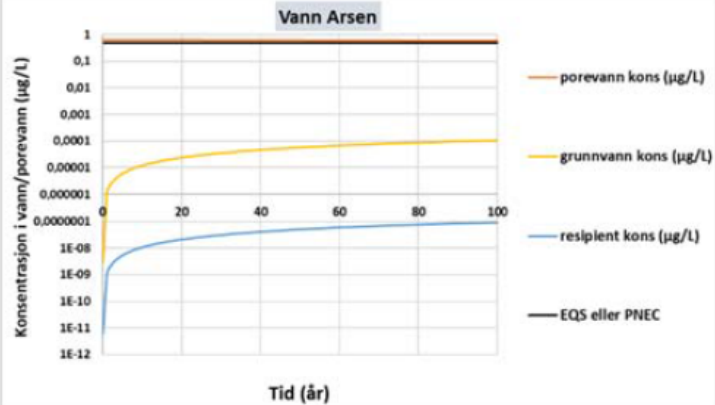
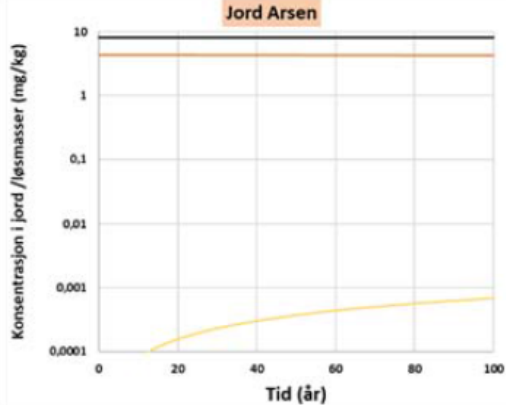
	Sjablong-verd	Anvendt verdi	Begrunnelse	
23	Grunnleggende jord parametere			
24	$f_{oc} (-)$	0,002	0,002	Akvifer av sand har veldig lavt TOC-innhold: 0,2%
25	Bulkdensitet til løsmasser, ρ_{jord} [kg/l]	1,7	1,7	Vanlig bulktetthet for sand
26	Effektiv Porøsitet, ϵ	0,40	0,40	Øvre grense for sand / grus masser
27	Generelle områdeparametere grunnvann			
28	Hydraulisk konduktivitet k (m/s)	1,00E-04	1,00E-04	Sand $k = 10^{-4}$ m/s
29	Gradient dh/dl (m/m)	0,03	0,03	Gradient 0,03
30	Strømningshastighet (m/år)	237	237	Basert på Darcy's lov omregnet til porevannshastighet i meter pr. år
31	Blandingsdybde (m)	5	5	Tilsvarende risikovurdering humanhelse
32	Lengde akvifer = lengde forurenset areal + avstand til resipient (m)	50	50	
33				

34 **RESIPIENT GENERELLE PARAMETERE**

	Sjablong-verd	Anvendt verdi	Begrunnelse	
35	Grunnleggende jord parametere			
36	Årsvolum i resipient (m ³)	5000000	5000000	

1			Målt umettet jordkonsentrasjon			Kontroll av homogenitet	INPUT: Målt jordkonsentrasjon, C _{jord} (mg/kg t.v.)					
2	x	Stoff	Antall prøver	C _{Jord, max} (mg/kg t.v.)	C _{Jord, middel} (mg/kg t.v.)	C _{Jord, max} / C _{Jord, median} (Verdi større enn 2 kan tyde på inhomogenitet/hotspot)	Prøve 1	Prøve 2	Prøve 3	Prøve 4	Prøve 5	Prøve 6
3	x											
4		Arsen										
5		Bly										
6		Kadmium										
7		Kvikksølv										
8		Kobber										
9		Sink										
10		Krom (VI)										
11		Krom total (III + VI)										
12		Nikkel										
13		Cyanid fri										
14		PCB7										
15		Lindan										
16		DDT										
17		Monoklorbenzen										
18		1,2-diklorbenzen										
19		1,4-diklorbenzen										
20		1,2,4-triklorbenzen										
21		1,2,3-triklorbenzen										
22		1,3,5-triklorbenzen										
23		1,2,4,5-tetraklorbenzen										
24		Pentaklorbenzen										
25		Heksaklorbenzen										
26		Diklormetan										
27		Triklormetan										
28		Trikloretan										
29		Tetraklormetan										
30		Tetrakloretan										
31		1,2-dikloretan										
32		1,2-dibrometan										
33		1,1,1-trikloretan										
34		1,1,2-trikloretan										
35		Fenol										

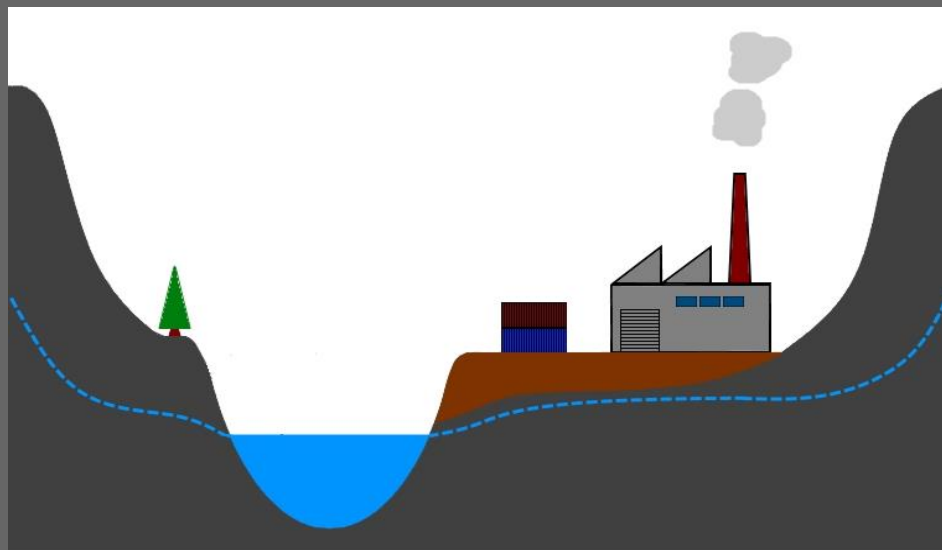
➤ Figur -
output



Opprinnelig mengde i umettet sone				Maks gjennomsnitt kons fritt-løst i resipient			
	11,69 kg			vann	2,50E-07 µg/L		
Max gjennomsnitt jord kons fritt-løst mettet zone				0,0 x EQS eller PNEC			
tid til maks	622 år			tid til maks (estimat)	622,71 år		
				notat	fritt-løst		
jord	1,84E-03 mg/kg			Mengde levert fra umettet sone til resipient			
	2,29E-04 x Normverdier			År	kg	%	
grunnvann	2,78E-04 µg/L			5	1,62E-05	0,000%	
	0,0 x EQS eller PNEC			20	2,57E-04	0,002%	
				100	6,02E-03	0,051%	
Maks gjennomsnitt kons mettet zone - kolloidal transport				ved maks kons i resipient	0,159	1,36%	
grunnvann	-			uendelig	11,691	100,00%	
tid til maks/år	ingen colloid transport			Kons.	5 år	20 år	100 år
				mettet sone	3,98E-05	1,55E-04	6,83E-04 mg/kg
				grunnvann	6,03E-06	2,35E-05	1,03E-04 µg/L
				resipient	5,42E-09	2,12E-08	9,31E-08 µg/L
				Resipient fortytning			
				Q forurenset gv som tilføres i resipient	28382		
				Fortynningsfaktor (-)	0,00090		
				1/Fortynningsfaktor (-)	1111,11		

Eksempel: Industritomt langs elv

- Jordart: Fyllmasser
- Areal: 50 x 30 m
- Mektighet: 1 m
- Stor grunnvannsgradient
- Resipient: Middels stor elv, ferskvann
- As, Pb, PCB, Benzen



Forbindelse	Antall prøver*	Gjennomsnitts kons. (mg/kg)	Maksimums kons. (mg/kg)	Kd
Arsen	65	4,33	62	100
Bly	84	134	2 720	1 000
PCB	30	0,326	2,2	5 000
Benzen	10	0,395	3,9	1,3

Sjablongverdier vs. stedsspesifikk

Tabell 2 Oversikt over transportparameter Eksempel 1, ny spredningsmodell.

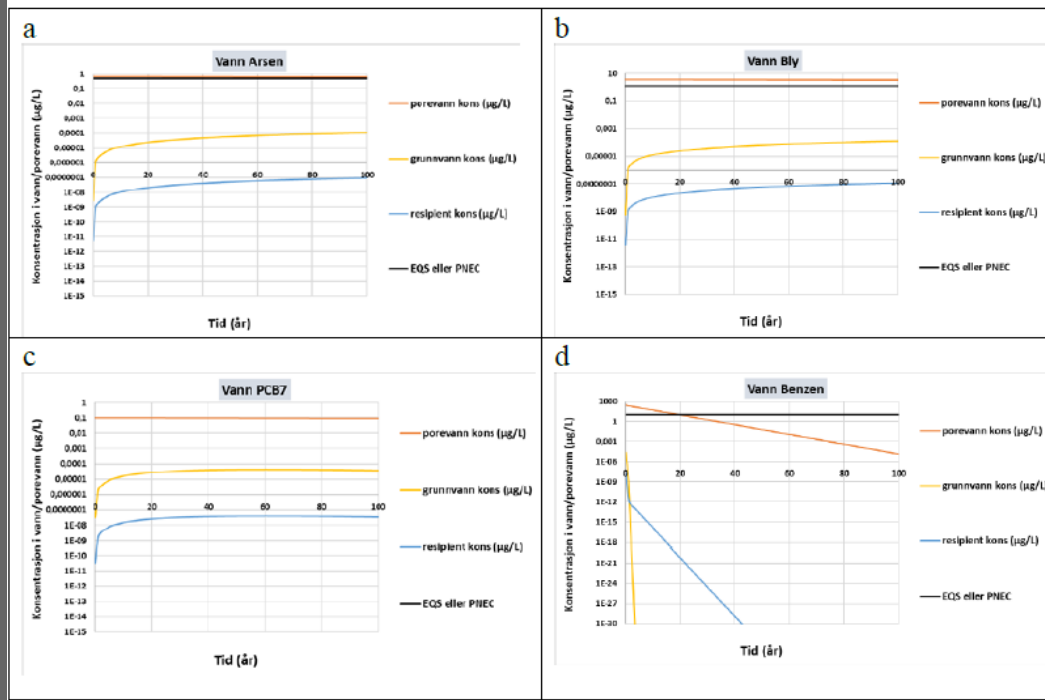
Parametere		Enhet	Standard verdi	Anvendt verdi
Boks 1	Umettet sone			
	Fraksjon organisk karbon f_{oc}	-	0,01	0,01
	Bulk tetthet	kg/L	1,7	1,8
	Effektiv porøsitet	m^3/m^3	0,40	0,41
	Vannfylt porevolum i umettet sone	m^3/m^3	0,20	0,076
	Lengde av forurensning i grunnvannsretning	m	50	50
	Bredde av forurensning på tvers av grunnvannsretning	m	50	30
	Dybde/mektighet av forurensningen	m	4	1
	Nedbør	mm/år	1500	834
	Fraksjon av nedbør med infiltrasjon	-	0,8	0,5
Boks 2	Grunnvann			
	Fraksjon organisk karbon f_{oc}	-	0,002	0,002
	Bulk tetthet	kg/L	1,7	1,8
	Effektiv porøsitet	m^3/m^3	0,40	0,41
	Hydraulisk konduktivitet K	m/s	1×10^{-4}	1×10^{-3}
	Gradient dh/dl	m/m	0,03	0,03
	Strømningshastighet	m/år	237	2308
	Blandingsdybde	m	5	1
Lengde akvifer = avstand til resipient	m	50	50	
Boks 3	Resipient			
	Vannføring i resipient	$m^3/år$	5 000 000	31 536 000
	Oppholdstid i resipient	år	1	1
	Vannvolum som påvirkes	m^3	5 000 000	31 536 000

* Standard verdi i Stoffarket for tungmetaller og organiske miljøgifter med log Koc > 4

Output

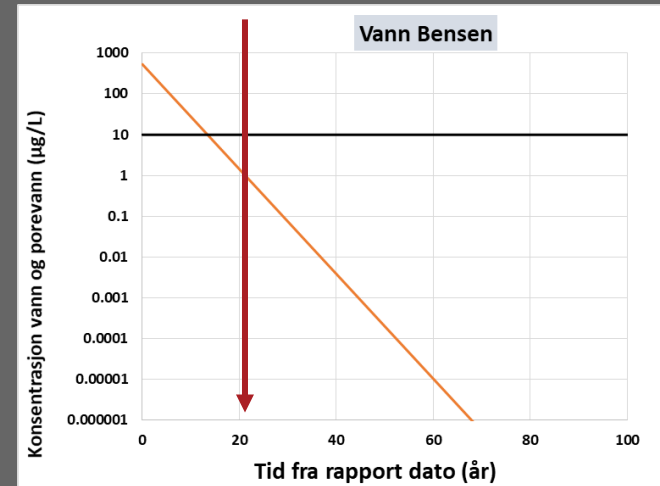
- Mengder
- Konsentrasjoner
- Tid
- Figurer med sammenligning mot grenseverdier

Forbindelse	Total mengde spredd 100 år (kg)	Grunnvann	Resipient			Mengde tilført ved maks kons (kg)
		Maks kons (mg/L)	Tid til maks (år)	Maks bidrag (mg/L)	Maks/AA-EQS	
Arsen	6×10^{-3}	$2,8 \times 10^{-7}$	623	$2,5 \times 10^{-10}$	5×10^{-7}	0,16
Bly	7×10^{-3}	$1,6 \times 10^{-6}$	3300	$1,4 \times 10^{-9}$	$1,2 \times 10^{-6}$	4,9
Σ PCB ₇	5×10^{-3}	$4,3 \times 10^{-8}$	62	$3,9 \times 10^{-11}$	-	0,003
Benzen	1,1	$7,6 \times 10^{-5}$	1,1	$6,8 \times 10^{-8}$	6×10^{-6}	0,18

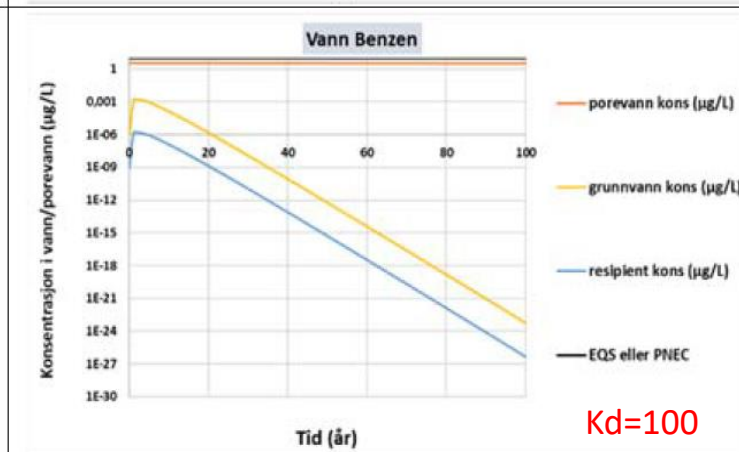
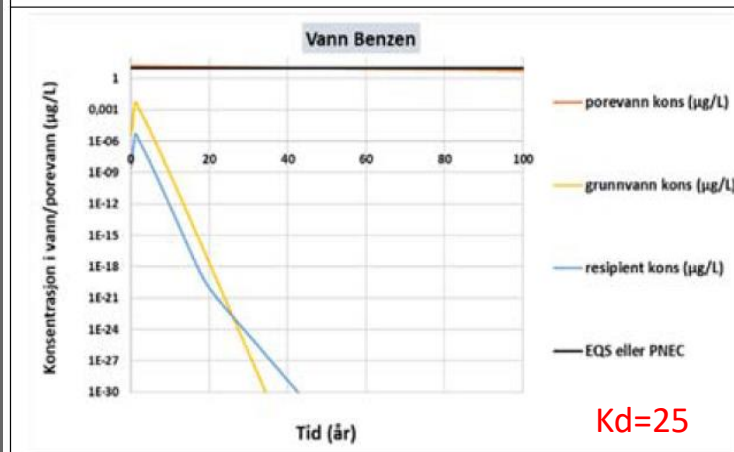
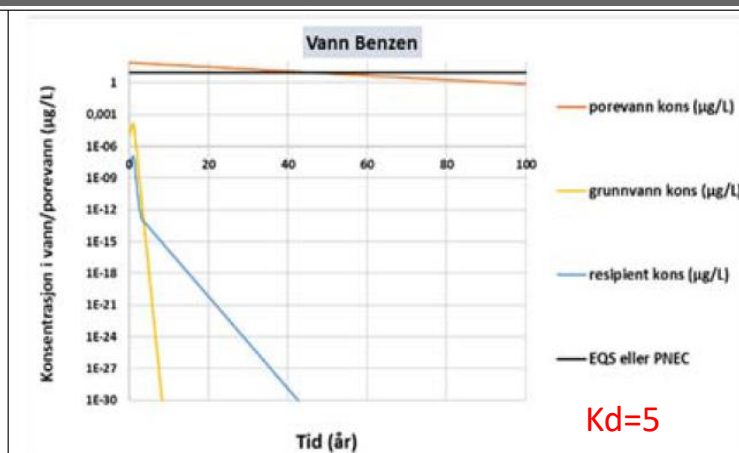
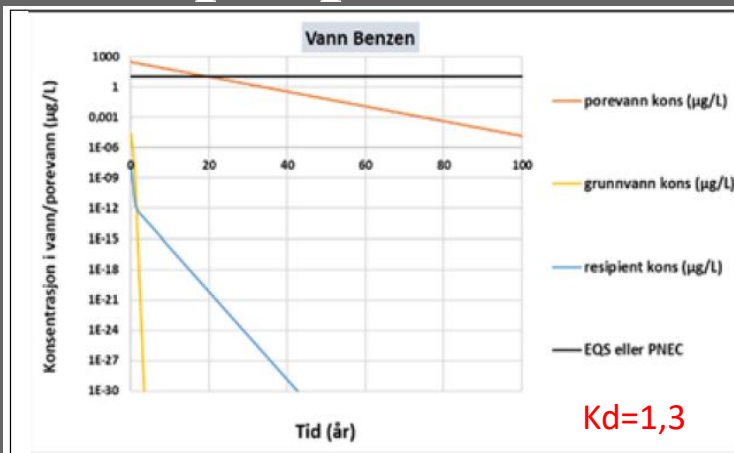


Usikkerheter/kritiske parametere

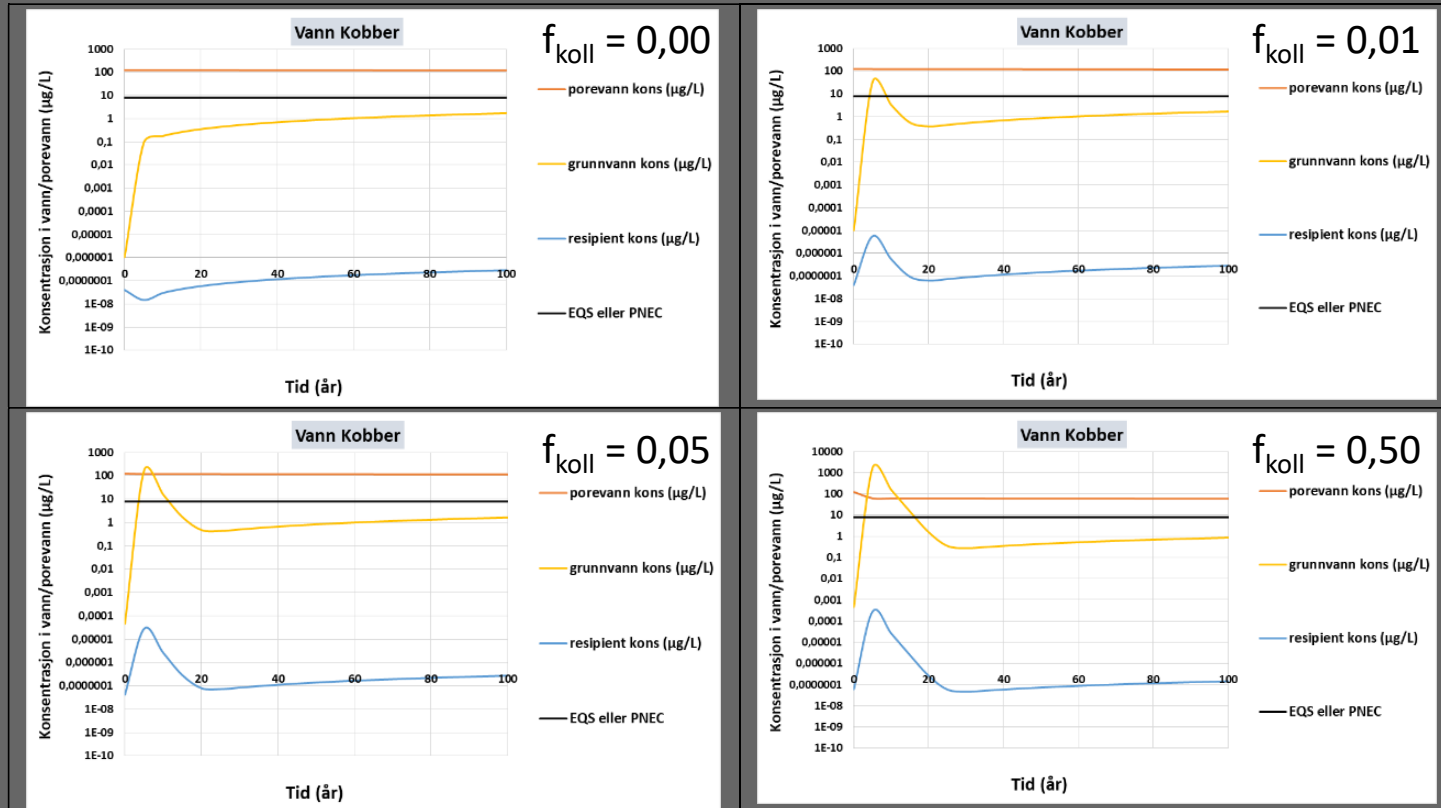
- ↗ Tid siden forurensningen oppsto
- ↗ Fordelingskoeffisienten mellom jord og porevann (K_d)
- ↗ Infiltrasjon i umettet sone
- ↗ Grunnvannshastighet og nedbørsfelt
- ↗ Kolloidal transport
- ↗ Vannføring i resipienten og oppholdstid



Eksempel på effekt av Kd-verdi

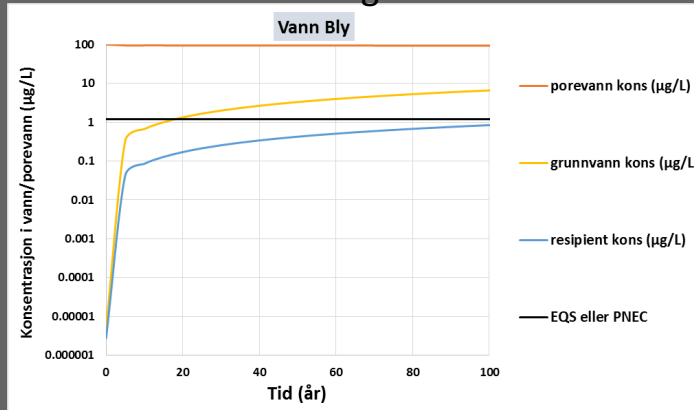


Eksempel på effekt av kolloidal transport

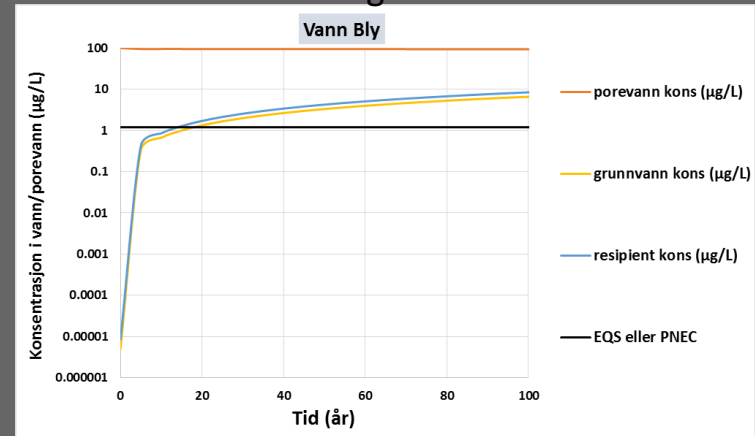


Eksempel på effekt av foretrukne spredningsveier

$$v_{gv} = 1\ 600\ \text{m/år}$$



$$v_{gv} = 16\ 000\ \text{m/år}$$

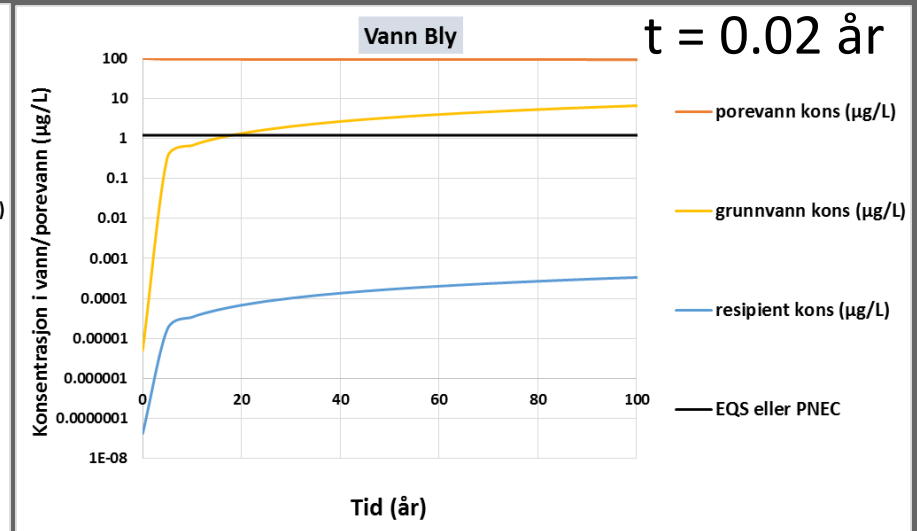
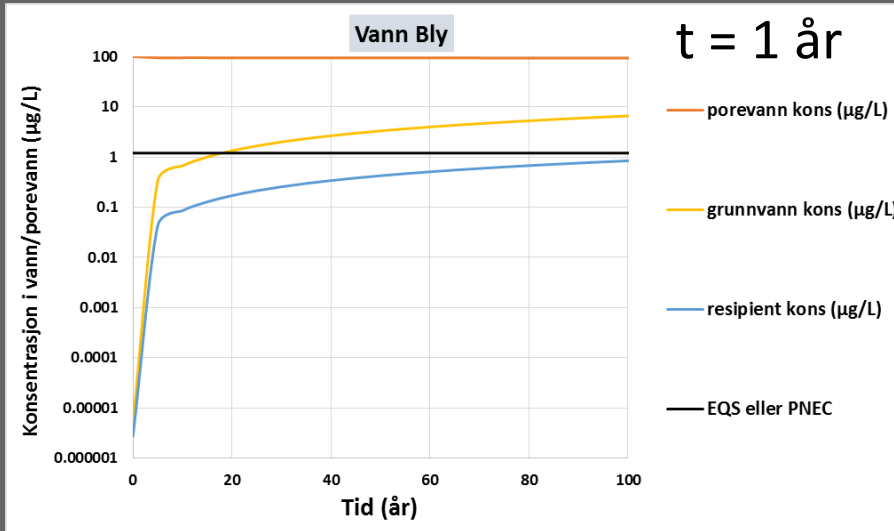


Tabell 2 Mettet hydraulisk konduktivitet for ulike massetyper (Freeze and Cherry, 1979).

Massetype	k (m/s)
Grus*	$10^{-3} - 10^{-1}$
Sand	$10^{-6} - 10^{-3}$
Silt	$10^{-9} - 10^{-6}$
Leire	$10^{-12} - 10^{-9}$

*Denne verdien kan også anvendes som konservativt anslag for fyllmasser

Eksempel på effekt av oppholdstid i resipient



Hva skjer videre?

- ↗ Begynn å bruke verktøyene.
 - Resultater er avhengige av grundig kartlegging (skrivebord og felt)
 - Begrunn valgene dine godt.
- ↗ Gi tilbakemeldinger (til Miljødirektoratet). Det er viktig at eventuelle feil blir rettet!
- ↗ Nettbaserte veiledere er enklere å endre og endringer som følge av tilbakemeldinger vil komme raskere.
- ↗ Det vil bli holdt kurs, sannsynligvis gjennom Miljøringen. Første runde kan bli holdt høsten 2022.



Lykke til med
spredningsvurderingen 😊



#påsikkergrunn