

# **Blys fordeling i en skydevold**

**En undersøgelse udført for De Danske Skytteforeninger**

**KOPI**

**April 1997**

**Thomas Astrup  
Jens K. Boddum  
Thomas H. Christensen**

**Institut for Miljøteknologi  
Danmarks Tekniske Universitet**

# Indholdsfortegnelse

<b>1. Indledning .....</b>	<b>2</b>
1.1 Baggrund .....	2
1.2 Formål .....	2
1.3 Udvælgelse af skydevold.....	2
<b>2. Materialer og metoder .....</b>	<b>3</b>
2.1 Skydebanen.....	3
2.2 Prøvetagning.....	4
2.3 Prøvebehandling.....	5
2.4 Laboratorieundersøgelser .....	6
<b>3. Resultater og diskussion .....</b>	<b>7</b>
3.1 Prøvebehandling .....	7
3.2 Texturanalyse .....	7
3.3 Jord-pH i skydevolden.....	8
3.4 Fordeling af projektiler i skydevolden .....	9
3.5 Blyindhold i jorden i skydevolden .....	10
3.6 Udvaskningstest.....	12
3.7 Udvaskelet bly relateret til pH .....	14
3.8 Potentiel udvaskning af bly fra skydevolden.....	16
<b>4. Konklusion .....</b>	<b>17</b>
<b>5. Referencer .....</b>	<b>18</b>

## Bilag A

Kornstørrelsesfordeling for prøverne V11 og J5

# 1. Indledning

## 1.1 Baggrund

Spredning af bly i miljøet som følge af skydning med blyholdig ammunition på skydebaner i Danmark er kun blevet undersøgt i enkelte tilfælde. Der er ved disse undersøgelser typisk blevet fokuseret på indholdet af bly i kuglefang og skydevolde med henblik på at beskrive betydningen af blyets tilstedeværelse for bortskaffelsen af materiale fra kuglefang og skydevolde. Sådanne undersøgelser har været udført på skydebaner under Forsvaret og Hjemmeværnet (Hedeselskabet, 1994a, 1994b samt 1994c).

Det har ikke været muligt at finde undersøgelser udført med henblik på at beskrive risikoen for udvaskning af bly fra skydevolde til grundvandet, det vil sige en vurdering af spredningen af bly til grundvand som følge af tilstedeværelsen af blyholdige projektiler i skydevolde.

De Danske Skytteforeninger (DDS) har således ønsket at få belyst, hvorvidt nedsivningen af bly fra skydevolde, der opsamler projektiler, udgør nogen væsentlig kilde til forurening af grundvandet.

På denne baggrund er Institut for Miljøteknologi på Danmarks Tekniske Universitet blevet bedt om at udarbejde nærværende undersøgelse ved en eksisterende skydebane under DDS.

## 1.2 Formål

Undersøgelsen har til formål at beskrive fordelingen af bly i en skydevold under De Danske Skytteforeninger med henblik på at vurdere den konkrete risiko for udvaskning.

Der tages i denne forbindelse udgangspunkt i en "worst case", det vil sige en gammel skydevold, som har været hårdt beskudt, som ikke har været oprenset indenfor en længere årrække og som er beliggende ovenpå en sandet, gerne halvsur jord. Sådanne forhold forventes at fremme en eventuelt nedsivning af tungmetaller, og en undersøgelse vil på denne baggrund kunne bidrage til en vurdering af problemstillingen omkring udvaskning af bly samt omkring opfang af projektiler og oprydning ved gamle skydevolde.

## 1.3 Udvalgelse af skydevold

Tre forskellige skydeanlæg blev indledningsvist besigtiget sammen med repræsentanter fra DDS. På baggrund af denne besigtigelse samt en kort prøvegravning og bestemmelse af jordens pH, blev en skydevold udvalgt, som bedst repræsenterede en "worst case"-situation.

Oplysninger om skydevoldens historie og beskydning er fremskaffet af DDS.

Undersøgelsen er udført i perioden 1. november 1997 til 30. marts 1998, og selve prøvetagningen er foretaget i perioden 19. til 21. november 1997 i tørvejr.

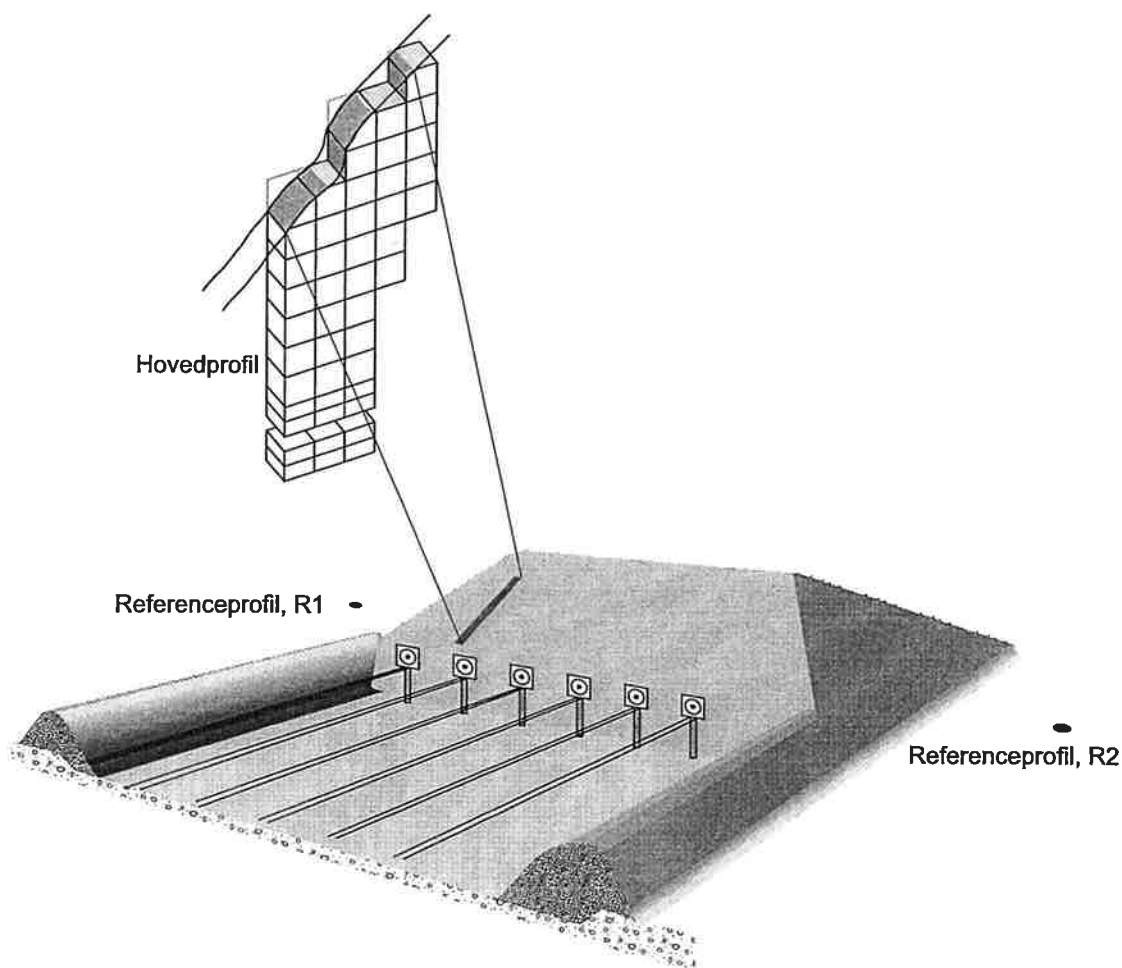
## 2. Materialer og metoder

### 2.1 Skydebanen

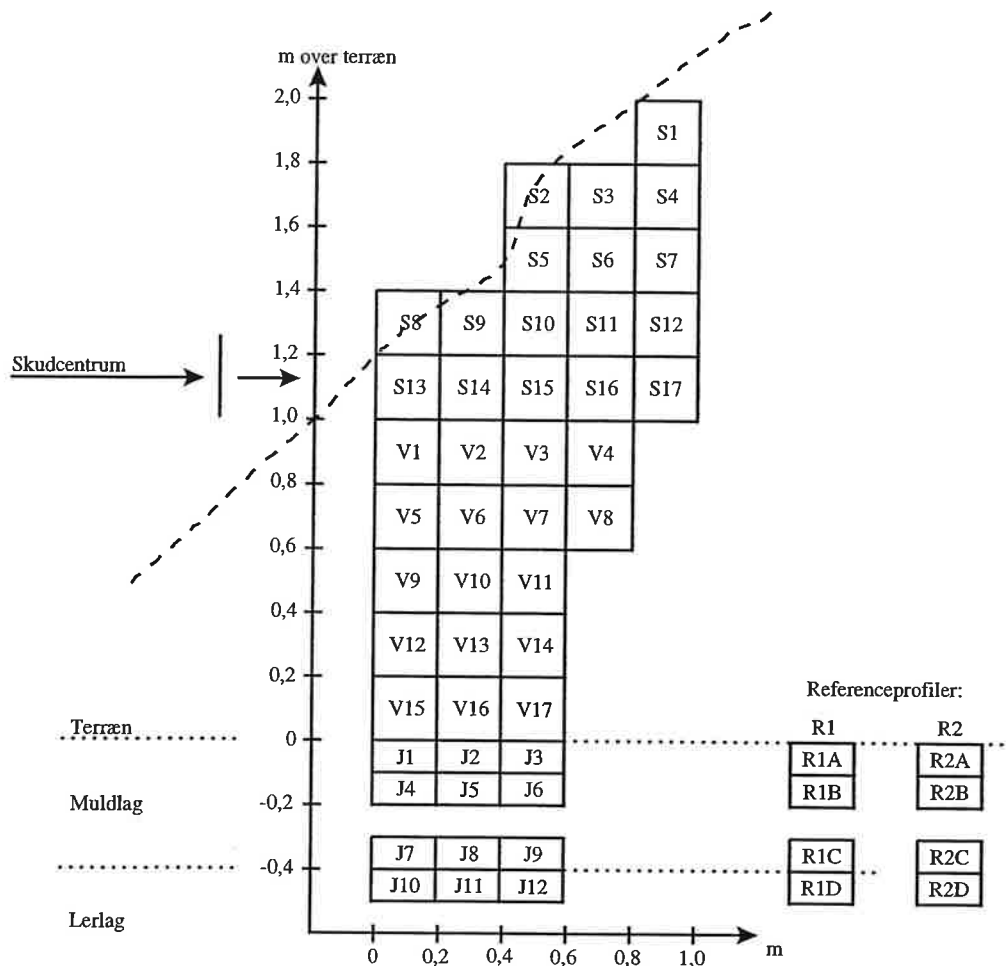
Undersøgelsen er udført på en skydebane i 24. kreds, beliggende hos Flemming Christensen, Lille Lyngbyvej 33, 3320 Skævninge, Sjælland.

Den nævnte skydebane har en alder af 31 år og er udelukkende blevet anvendt til 50 m skydning med salongevær. Banen består af i alt seks standpladser.

Det oplyses af DDS, at skydebanen i hele dens levetid er anvendt 2 dage om ugen i perioden fra april til og med september måned i det enkelte år, svarende til et samlet antal dage med skydning på ca. 50 pr. år i 31 år. Det maksimale antal skud pr. standplads fås med 3 brugstimer pr. dag og 50 skud pr. time til 232.500 skud i 31 år, hvilket svarer til en blymængde på maksimalt 600 kg, idet salonpatroner har blyprojektiler med en vægt af 2,6 g. Det faktiske antal afgivne skud kan med rimelighed antages at være væsentlig lavere end det maksimale, hvorfor et rimeligt estimat af den opsamlede blymængde kunne være ca. 200-300 kg pr. standplads.



Figur 1. Skitsering af skydeanlægget med angivelse af profilernes placering relativt til skydevolden. Profilet i skydevolden er udgravet som skitseret ved det mørke felt placeret bagved den ene standplads. Referenceprofilerne er placeret midt for volden ca. 3 m ude i voldens længdeakse.



Figur 2. Profiler med angivelse af prøvenavne. Skydevoldens overflade er skitseret ved den stiplede linie og centrum af skiven er angivet med pile og ordene "skudcentrum". Terrænniveauet er angivet ved højden 0 m og overgangen mellem de to underliggende lag ved højden -0,4 m.

Skydevolden er ved etableringen anlagt med overfladejord afrømmet fra udgravningen umiddelbart foran skydevolden, mens jorden umiddelbart under volden består af det oprindelige muldlag/pløjelag og under dette et lerlag (se figur 2). Skydevolden har ved terræn en længde på ca. 12 m og en bredde på ca. 5 m, højden er midtfor ca. 2,6 m. De 6 skiver er placeret med mellemrum af ca. 1m, med en afstand fra de yderste til de ydre ender af skydevolden på ca. 3,5 m. Den øverste vandrette kant på skydevolden er ca. 7 m i voldens længderetning. Området har før etableringen af skydeanlægget været mark anvendt til husdyrhold. Skydevolden er bevokset med græs og mindre plantevækster.

## 2.2 Prøvetagning

Af de seks mulige standpladser er udvalgt den ifølge ejeren oftest benyttede. De ialt 54 udtagne jordprøver er fordelt således, at 17 prøver er fra skydevolden omkring skudcentret (prøverne S1-S17), 17 prøver er fra volden under skudcenteret (prøverne V1-V17) og 12 prøver under selve skydevolden (prøverne J1-J12). Der er desuden udtaget prøver i to referenceprofiler (prøverne R1A-R1D og R2A-R2D), som er placeret udenfor skudområdet ved hver ende af skydevolde, ca. 3 m ude set i længderetningen (se figur 1). Placeringen af de enkelte prøver i de tre profiler er illustreret i figur 2 med angivelse af prøvenavne.

Både den sigtede prøve og sigteresten er vejjet. Projektilerne er siden frasorteret sigteresten og renskyttet, hvorefter også projektilerne er vejjet.

## 2.4 Laboratorieundersøgelser

I det følgende er beskrevet de undersøgelser, der er foretaget på de indsamlede jordprøver. Alle af nedenstående aktiviteter er udført på den sigtede prøve, det vil sige fraktionen mindre end 2 mm, med mindre andet er nævnt.

### 2.4.1 Tørstof

Tørstofindholdet af de undersøgte jordprøver er bestemt ved tørring af en kendt prøvemængde i ca. 24 timer ved 105 °C i henhold til Dansk Standard nr. 204 (DS, 1980).

### 2.4.2 Texturanalyse

En jordprøve fra skydevolden, V11 og en jordprøve fra jorden under skydevolden, J5 er sendt til texturanalyse på Geoteknisk Institut, Maglebjergvej 1, 2800 Lyngby for bestemmelse af Kornstørrelsesfordelingen i de udvalgte prøver.

### 2.4.3 Jord-pH

De enkelte jordprøvers pH-værdier er målt efter standard jordbrugsanalyse (Landbrugsministeriet, 1972) ved omrystning af ca. 15 g jord og ca. 15 ml 10<sup>-2</sup>M CaCl<sub>2</sub>-opløsning i 100 ml polyethylenflasker i ca. 30 minutter. pH i væsken er målt umiddelbart efter endt omrystning. Analysen er foretaget på en delprøve af de oprindeligt udtagne og ikke sigtede jordprøver og er gennemført maksimalt 9 timer efter udgravningen af jordprøverne.

### 2.4.4 Totalt blyindhold

Det totale indhold af bly i jordprøverne er bestemt i henhold til Dansk Standard nr. 2210 (DS, 1990). En prøvemængde på ca. 1 g TS er i en 100 ml PYREX-flaske oplukket med halvkonzentreret salpetersyre ved kogning i autoklave i 30 minutter ved 200 kPa (120 °C).

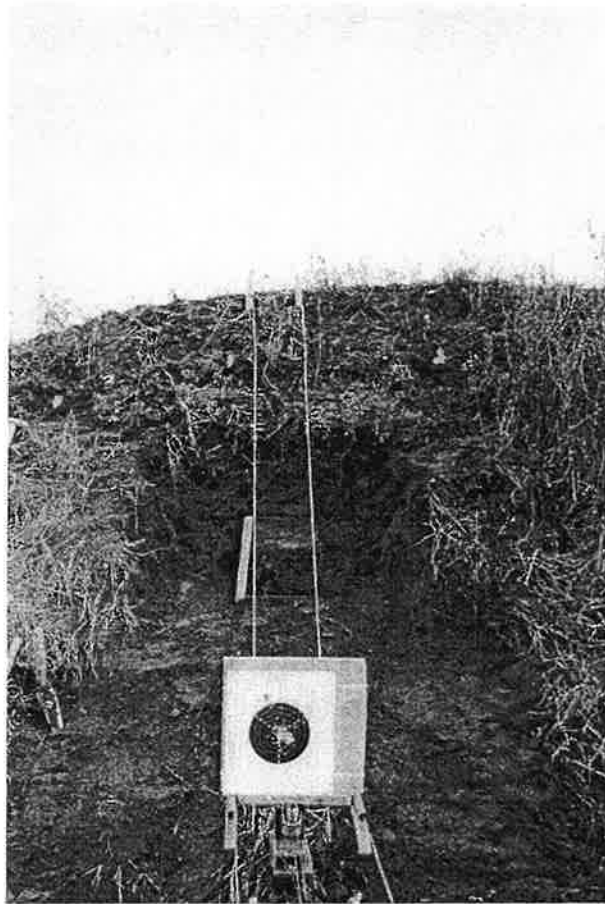
### 2.4.5 Udvaskningsforsøg

Jordens udvaskningsegenskaber med hensyn til bly er undersøgt ved en modificeret CEN-test (DS, 1996). En prøvemængde på ca. 30 g TS er med ca. 60 ml 10<sup>-3</sup>M CaCl<sub>2</sub>-opløsning omrystet i en 100 ml polyethylenflaske i 72 timer (ved den normale CEN-test anvendes destilleret ionbyttet vand samt en omrystningstid på 24 timer). Testen er således foretaget ved et liquid/solid-forhold (L/S) på 2 og uden fastholdelse af pH under omrystningen. pH er målt umiddelbart efter endt rystning, og jord og opløsning er separeret ved centrifugering. En delprøve af supernatanten er herefter udtaget og konserveret med 1% koncentreret salpetersyre.

### 2.4.6 Analysemetoder

Ved ovenstående analyser er alle anvendte glas- og plasticvarer forinden brug rengjort ved opbevaring i ca. 1,5 M salpetersyre i minimum 24 timer og efterfølgende skylning med ionbyttet destilleret vand. Alt anvendt vand i øvrigt er ligeledes ionbyttet destilleret vand.

Koncentrationen af bly i syreoplukning og væske fra udvaskningsforsøgene er bestemt ved atomabsorbtionsspektrometri; enten ved Flamme-AAS (Perkin-Elmer 5000) eller Grafit-AAS (Perkin-Elmer 5000, HGA 400 grafitovn, deuterium baggrundskorrektion, ekstraktion).



*Figur 3. Skitsering af udgravningen af hovedprofilet i skydevolden og udtagningen af jordprøver. Placeringen af profilet er bagved skiven angivet ved to snore. Der er på billedet udgravet prøverne S1-S6. Den lyse pind er placeret ved siden af prøve S7.*

Prøverne udgør som helhed et 0,2 m bredt profil lodret centreret omkring skudlinien med en maksimal vertikal udstrækning på 2,5 m ned gennem skydevolden og en horisontal udstrækning på 1 m ind i volden. Referenceprøverne er udtaget på hver side af skydevolden, og disse er forsøgt placeret vertikalt parallelt med J-prøverne. Det skal bemærkes, at der i referenceprofil R1 blev genfundet de samme jordlag som var tilstede i J-prøverne, mens dette ikke var tilfældet for referencenprofilet, R2, hvor alle prøver blev udtaget fra muld- eller pløjelaget (se figur 2).

Selve prøveudtagningen er foregået ved afgravning af jorden på hver side af prøvetagningszonen, således at velafgrænsede jordprøver har kunnet udtages og sammensynkning/nedskridning samtidig undgås (se figur 3). Afgravningen af jord er sket i takt med udtagningen af prøver, der havde dimensioner på ca. 0,2x0,2x0,2 m undtagen for J- og R-prøverne, der havde en størrelse på ca. 0,2x0,2x0,1 m. Jordprøverne er umiddelbart efter udtagningen fra skydevolden blevet overført til 10 l rene plastspande, hvori prøverne er opbevaret indtil videre behandling.

### **2.3 Prøvebehandling**

Jordprøverne er hjemtaget samme dag, som de er udgravet, og er efter hjemtagning blevet opbevaret ved ca. 25°C. Fra de indsamlede prøver er udtaget en repræsentativ delprøve på ca. 1 kg tørstof (TS), der herefter er tørret i aluminiumsbakker i minimum halvandet døgn. Disse delprøver er derefter sigtet gennem et 2 mm sold for at fjerne projektiler, sten og lignende.

### 3. Resultater og diskussion

I det følgende gennemgås og diskuteres de resultater, der er fremkommet på baggrund af de udførte analyser.

#### 3.1 Prøvebehandling

Det skal ved den efterfølgende diskussion bemærkes, at de angivne resultater er fremkommet på baggrund af en delprøve af den faktisk udtagne jordprøve med størrelsen 0,2x0,2x0,2 m for S- og V-prøverne og 0,2x0,2x0,1 m for J- og R-prøverne som vist på figur 2. Således skal de i det følgende viste værdier for de enkelte prøver ses som et udtryk for en middelværdi over hele prøvevolumenet, idet der i enkelte jordprøver visuelt under prøvetagningen blev observeret visse forskelle i mængden af projektilrester internt i prøven.

Efter tørring af de udtagne delprøver er tørstofindholdet undersøgt ved stikprøvekontrol. Det blev i denne forbindelse fundet, at prøverne ved tørringen opnåede vandindhold på typisk 2-3%, hvilket anses for at være negligibelt i nærværende undersøgelse. Der er således ved de efterfølgende angivne resultater ikke korrigeret for dette vandindhold.

#### 3.2 Texturanalyse

Kornstørrelsesfordelingen af jorden i en prøve fra skydevolden, V11 og en prøve fra jorden under skydevolden, J5 blev bestemt ud fra et ønske om en karakterisering af den konkrete jord. Som det ses af figur 2, findes prøven V11 i den nedre del af skydevolden ca. 0,5 m over terræn, mens prøven J5 er udtaget fra jorden under skydevolden ca. 0,2 m under terræn. Udvalget er sket ud fra et ønske om en repræsentativ prøve fra jorden under volden, som antages at være uberørt i forbindelse med anlæggelsen af volden, samt en prøve fra selve volden, som dog ikke måtte være forurenet med projektilrester, der kunne forstyrre texturanalysen.

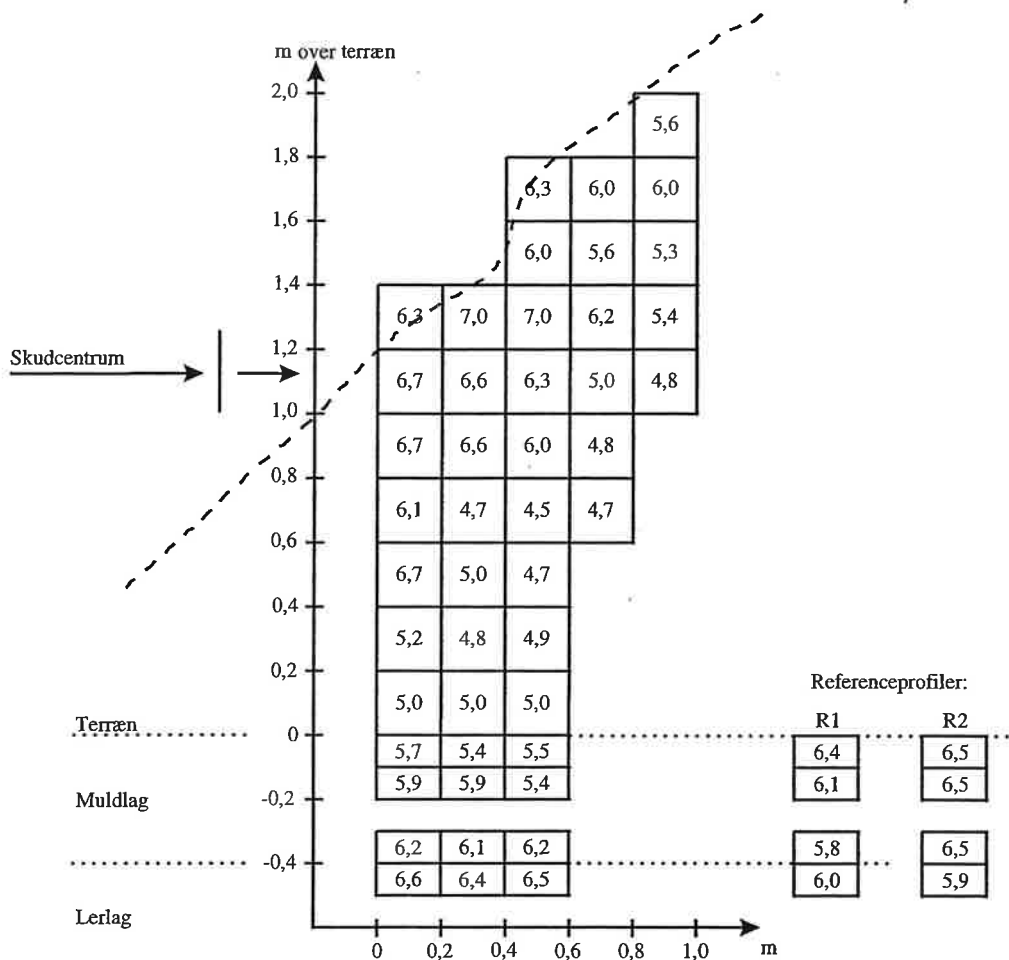
Kornstørrelsesfordelingen er vist i bilag A, hvor vægtprocenten af fraktionen mindre end en given kornstørrelse er optegnet som funktion af kornstørrelsen. Herved kan mængden af eksempelvis fraktionerne ler, silt og sand aflæses. For de to jordprøver fås således:

	J5	V11
Ler (< 0,002 mm)	8 %	8 %
Silt (0,002-0,02 mm)	19 %	14 %
Sand (0,02-2,0 mm)	73 %	78 %

Som de ses, er de tre fraktioner repræsenteret i forholdsvis sammenlignelige mængder, og kurverne for kornstørrelsesfordelingen i bilag A ses da også at stemme nogenlunde overens. På denne baggrund kan begge jordprøver ud fra danske teksturklasser (Petersen, 1986) karakteriseres som lerblandet sandjord.

Det var på forhånd forventet, at begge jordprøver havde relativt ens karakteristika, da jorden anvendt til fremstillingen af skydevolden er jord fjernet i forbindelse med afgravningen til anlægget umiddelbart foran skydevolden.



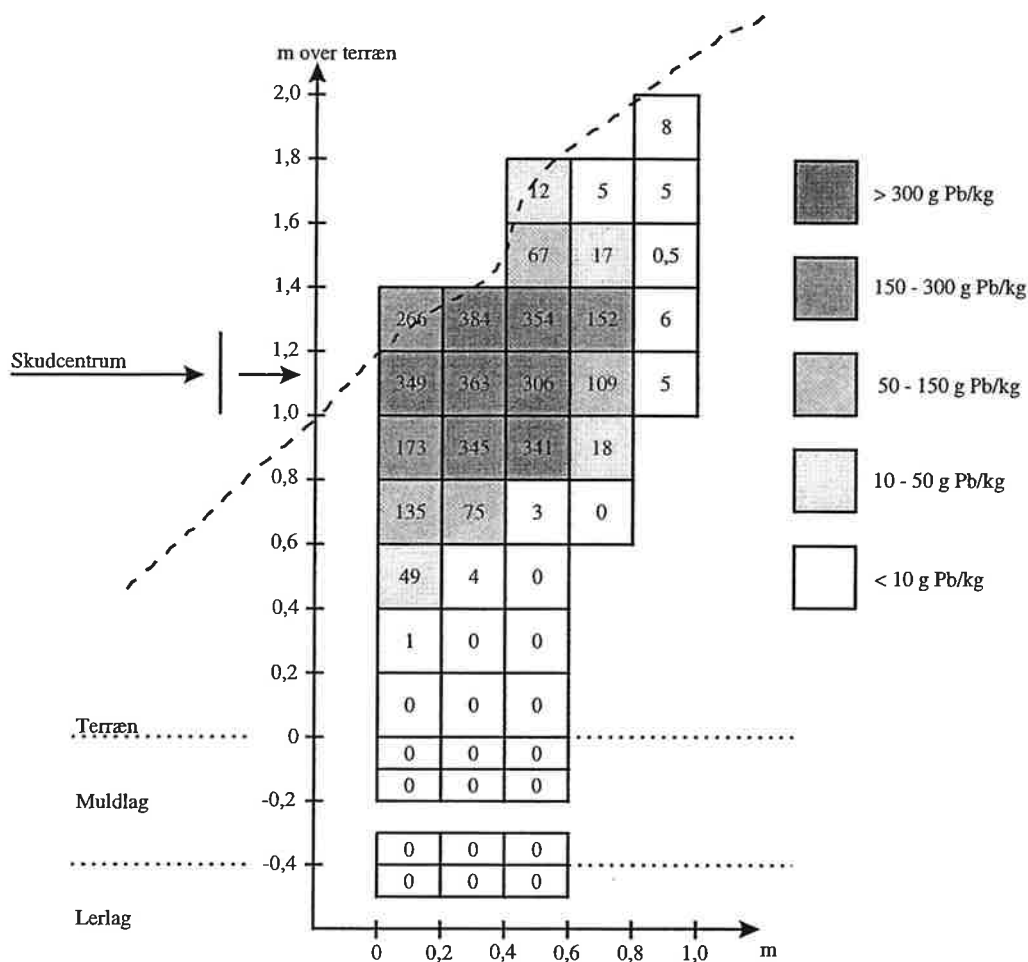


Figur 4. Profiler med angivelse af de enkelte prøvers jord-pH.

### 3.3 Jord-pH i skydevolden

I forbindelse med vurdering af transport af tungmetaller i jord og grundvand er pH-værdien i jorden en vigtig parameter. Fordelingen mellem jord og væske af divalente tungmetaller kan ofte beskrives ud fra kendskabet til jordens pH, idet sådanne tungmetaller i mindre grad bindes til jorden ved lave pH-værdier sammenlignet ved høje. På denne baggrund er jordens naturlige pH i skydevolden bestemt ved suspension i  $10^{-2}$  M  $\text{CaCl}_2$ . Målingen af pH skete umiddelbart efter hjemtagningen af jordprøverne, således at en så realistisk værdi som muligt er opnået.

De enkelte værdier af jord-pH for de udtagne prøver er angivet i figur 4. Det kan her ses, at pH-værdierne for skydevolden er fundet i et område fra 4,5 til 7,0 med et gennemsnit på 5,8. Der er ikke nogen klar systematisk variation ned gennem profilet, men let forhøjede værdier kan dog ses i prøverne ud for skudcentret (ca. 1,1 m over terræn). Dette er i overensstemmelse med tilstedeværelsen af metallisk bly i form af projektiler i skydevolden (se beskrivelsen af fordelingen af projektiler i volden efterfølgende), idet metallisk bly kan medvirke til en forøgelse af pH i jorden omkring partiklerne som følge af oxidation på overfladen af projektilerne. Da der findes relativt meget bly i området ud for skudcentret kan dette være en mulig forklaring på de let forhøjede pH-værdier i netop dette område af skydevolden. Til forskel herfor ses let faldende pH-værdier ned gennem profilet under skudcentret (dog med en let forøgelse igen i det oprindelige muld- og i lerlag under volden) og i området over skudcentret. Overordnet kan det ses, at pH-niveauet i skydevolden under skudcentret er svagt surt.



Figur 5. Fordelingen i profilet af blymængden i form af projektiler eller projektilrester angivet som g bly pr. kg jord (tørstof). Der blev ikke fundet blyprojektiler i referenceprofilerne, R1 og R2.

På baggrund af ovenstående er det således klart, at ønsket om at tage udgangspunkt i en skydevold, hvor forholdene i jorden som minimum var svagt sure, er opfyldt og grundlaget for en betydelig udvaskning af tungmetaller er tilstede.

### 3.4 Fordeling af projektiler i skydevolden

Fordelingen i skydevolden af ammunition i form af projektiler eller projektilrester større end 2 mm er bestemt ud fra den frasigtede del af prøverne. Projektilerne er som tidligere nævnt udsorteret fra sigteresten, der udover disse bestod af småsten og mindre plantedele. Da udsorteringen er foretaget manuelt er det rimeligt at antage, at de mindste projektilrester, i størrelse svarende til de mindste sten på 1-2 mm, ikke er blevet udsorteret, da disse vanskeligt kunne skelnes fra de øvrige materialer.

Fordelingen af projektiler i skydevolden, som vist på figur 5, baseres således på den frasorterede og vejede mængde af blypartikler fundet i de enkelte jordprøver. Der er ikke fundet projektiler i prøverne i de to referenceprofiler.

Det kan på figur 5 ses, at de største projektilmængder er fundet omkring midten af profilet i prøverne fra 0,8 til 1,4 m over terræn med et maksimalt indhold i prøverne på ca. 380 g Pb/kg TS. Skudcentret befinder sig ca. 1,15 m over terræn, hvorfor det var forventeligt at finde projektilrester i dette niveau. Der findes dog tillige et højt indhold i prøverne i niveauet under

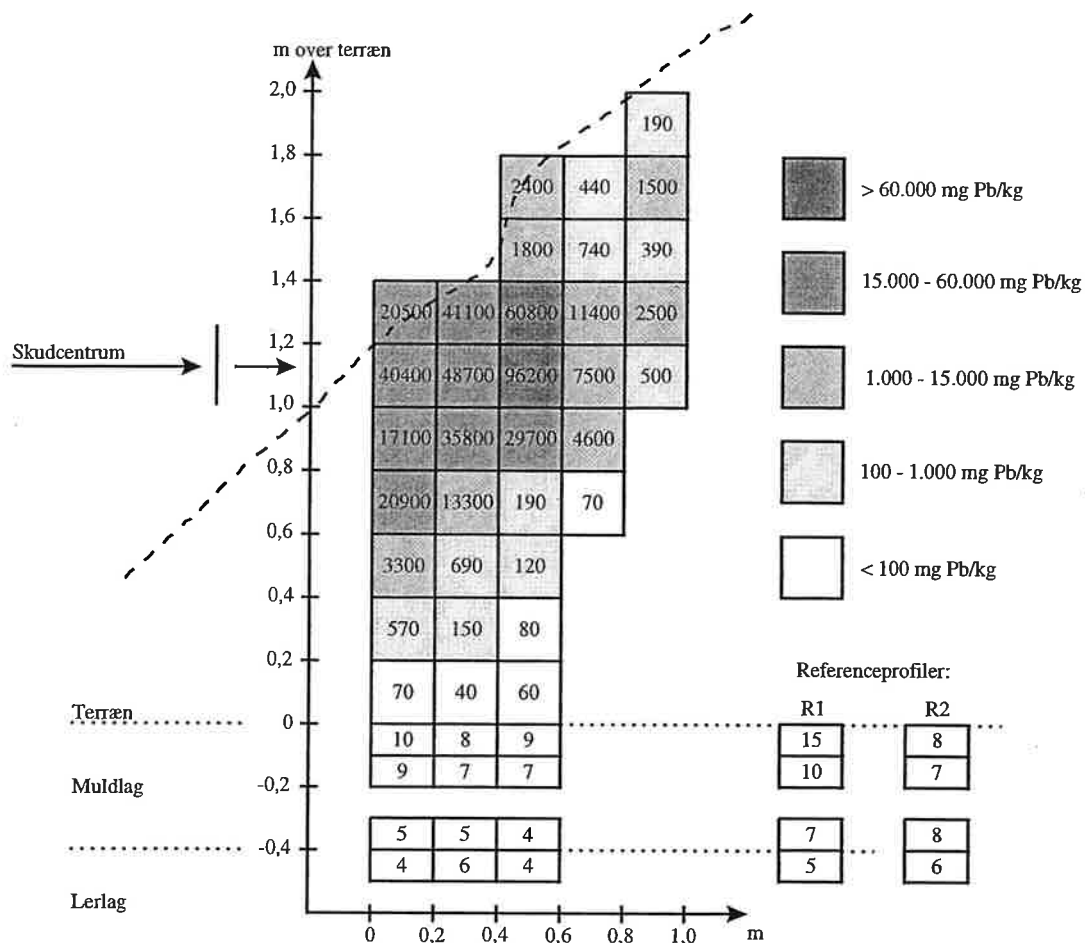
skudcentret (0,8-1,0 m over terræn), hvilket kan skyldes, at skudcentret på et tidspunkt i skydebanens historie er blevet hævet ca. 10-20 cm. Umiddelbart under dette niveau ses faldende mængder af projektiler og under ca. 0,5 m over terræn stort set ingen projektilrester. Overordnet ses således, at projektilerne er placeret i den øvre og midterste del af profilet i niveau med skudcentret.

Den samlede mængde projektiler og projektilrester, der er registreret i denne forbindelse, er for alle de i volden udtagne prøver 3,6 kg. Antages det, at der ved udsorteringen af projektiler i forbindelse med prøvebehandlingen kun er blevet frasorteret 90% af de tilstedeværende projektilrester fås en reel blymængde i prøverne på i alt 3,9 kg. Da prøverne, hvorfra projektilerne er udsortet, som tidligere nævnt er repræsentative delprøver stammende fra prøver med dimensionerne 0,2x0,2x0,2 m, svarende til en vægt på ca. 14 kg (beregnet ud fra en estimeret massefylde af jorden i volden på 1,7 kg/l, idet opsamlingen af projektiler medfører en kompaktering af jorden, og projektilerne i sig selv forøger massefylden), er den faktiske blymængde i jordprøverne udtaget fra profilet ca. 12 gange så stor, nemlig 47 kg. Det skal her erindres, at denne blymængde er bestemt ud fra et profil med en horisontal udstrækning på 0,2 m ligeligt fordelt på begge sider af centrum af pladen, hvorpå skiven placeres. Da selve skiven kan placeres forskelligt på pladen mellem hver skudserie, og da selve træfningerne varierer, er det rimeligt at forvente, at projektilerne til en vis grad er spredt horisontalt på hver side af skudcentret udover det område, der dækkes af profilet. Hvis det således antages, at 10% af projektilerne findes på hver side af det udgravede profil, udgør den fundne mængde af projektiler således kun 80% af den i volden reelt opsamlede projektilmængde, der samlet vil være 59 kg i stedet for 47 kg. Hvorvidt denne betragtning er rimelig eller ej er vanskelig at afgøre, og det skal bemærkes, at der ved udgravningen af profilet og udtagningen af prøver ikke blev observeret væsentlige mængder af hele projektiler udenfor det undersøgte profil. I forbindelse med ovenstående beregning af den samlede projektilmængde i skydevolden skal det erindres, at beregningen er baseret udelukkende på mængden af frasorterede projektiler eller projektilrester fra sigteresten, hvorfor dele af projektiler mindre end 2 mm ikke er medtaget. Den observerede projektilmængde udgør på denne baggrund ca. 20-30 % af den estimerede projektilmængde pr. standplads.

Uanset hvad den nøjagtige mængde af blyprojektiler i skydevolden ud for den betragtede standplads måtte være, er den fundne mængde projektiler tilstrækkeligt til potentielt at kunne medføre en betydelig udvaskning af bly fra volden. Udgangspunktet for nærværende undersøgelse om at belyse forholdene i en skydevold, der har været hårdt beskudt, kan derfor siges at være opfyldt, idet det tillige bemærkes, at der fra skydevolden i hele dens eksistens ikke har været udgravet blyklumper.

### **3.5 Blyindhold i jorden i skydevolden**

Jordens blyindhold bestemt ved syreoplukning, som beskrevet under afsnittet om laboratorieundersøgelser, kan forventes overordnet at have en fordeling i profilet, der afspejler fordelingen af projektiler. Den blymængde, der er bestemt i denne forbindelse, er et resultat dels af tilstedeværelsen af fine projektilfragmenter med en størrelse mindre end 2 mm og dels af forekomsten af bly bundet til jordpartiklerne eller bly i udfældningsprodukter. Fordelingen af jordens indhold af bly er således vist på figur 6.



Figur 6. Fordelingen i profilerne af jordens blyindhold fundet ved syreoplukning.

Det kan på figuren ses, at de højeste værdier findes i prøverne i niveauerne omkring skudcentret (0,8-1,4 m over terræn) med en maksimal koncentration på 96 g Pb/kg TS. Fordelingen af bly i jorden er analog til fordelingen af projektilrester i skydevolden. Dette skyldes formentlig overvejende tilstedeværelsen af fine fragmenter af projektiler, og således metallisk bly, der er medtaget i den sigtede prøve. De fundne værdier er således i dette område af profilet ikke nødvendigvis et udtryk for hvad, der er bundet til jordpartiklerne, idet projektilerne ved opbremsningen i skydevolden beskadiges og formentlig delvist fragmenteres. Disse forhold gør sig dog kun gældende i prøver, hvor der er fundet projektilrester, hvorfor det må antages, at der i prøverne under 0,4-0,6 m over terræn ikke registreres bly stammende fra fine partikler af metallisk bly. I denne nedre del af profilet er indtil terrænniveau fundet koncentrationer af bly i området 40-3.300 mg Pb/kg TS, mens der under terrænniveau findes værdier under 10 mg Pb/kg TS.

Den samlede blymængde i hele profilet fundet ved syreoplukning udgør 0,46 kg overvejende koncentreret i prøverne ud for skudcentret. For at få en mere realistisk angivelse af den totale blymængde i profilet i form af projektiler og projektilrester er det rimeligt at medtage bidraget fundet ved syreoplukning, idet fine fragmenter af metallisk bly fra projektiler, som nævnt, i prøverne omkring skudcentret antages at udgøre en væsentlig del af den fundne mængde. Medtages dette bidrag i diskussionen af den samlede projektilmængde under afsnittet om fordelingen af projektiler i skydevolden, fås at udgangspunktet for beregningen i stedet for 3,6 kg bør være 4,0 kg. Dette medfører, ved at gennemføre den samme række af beregninger, at den totale mængde projektiler skydevolden har opsamlet ud for den undersøgte standplads i stedet for 68 kg fås til 78 kg. Sammenlignes dette med en maksimal

opsamlet mængde på 200-300 kg pr. standplads ses, at den genfundne blymængde udgør ca. 25-40% af den forventede projektilmængde. Hvorvidt dette skyldes, at standpladsen er blevet benyttet væsentlig mindre end forventet, eller at der fra skydevolden i løbet af de 31 år er blevet fjernet blyprojektiler ved en mindre oprensning udfor den konkrete standplads, er vanskeligt at svare på. Det kan blot i lighed med diskussionen tidligere bemærkes, at den totale blymængde i skydevolden ud for den undersøgte standplads er tilstrækkelig til potentielt at kunne medføre en betydelig udvaskning.

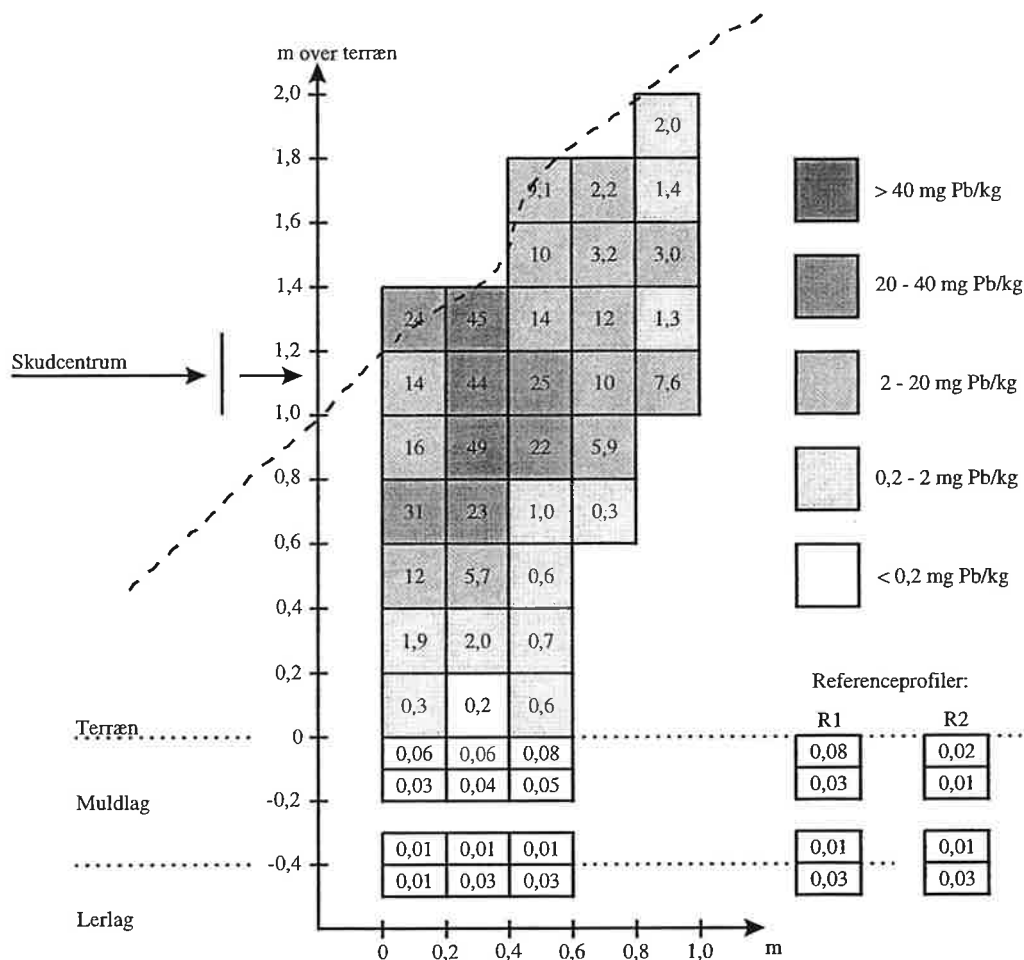
Akvifermateriale og uforurenede jord indeholder typisk bly i koncentrationer af størrelsesordenen 10-20 mg Pb/kg (Kjeldsen og Christensen, 1996) og landbrugsjord i gennemsnit 16 mg/kg (Nielsen et al., 1995). Et sundhedsmæssigt baseret kvalitetskriterium for bly i jord angives endvidere til 40 mg Pb/kg (Nielsen et al., 1995). På denne baggrund kan det erkendes, at jorden i profilet under terrænniveau ikke er forurenede med bly. Sammenholdes værdierne fundet her med de tilsvarende for de to referenceprofiler ses, at blyindholdet i jorden under terrænniveau, både under og udenfor skydevolden, er af samme størrelse og således kan antages at angive baggrunds niveauet for bly i området. Overordnet haves herved en situation, hvor der findes forhøjede koncentrationer af bly i hele skydevoldens højde fra terræn og opetter. De nederste 0,2 m af volden dog i koncentrationer på niveau med overfladejord i byområder.

### 3.6 Udvasningstest

For vurdering af jordens udvasningsegenskaber, er der med de udtagne jordprøver gennemført en række udvasningstest. Denne test baseres på en antagelse om ligevægt mellem væsken og faststoffasen, hvorved den beskriver ligevægtsforholdene ved det benyttede L/S-forhold, som er 2 l/kg. Den udvaskede blymængde er opgivet i forhold til prøvemængden i den enkelte udvasningstest, og fordelingen er vist i figur 7

I lighed med fordelingen af projektilrester og bly i jorden i skydevolden ses mængden af udvasket bly ved L/S lig 2 at være højest i niveauerne omkring skudcentret, det vil sige i rækken af prøver fra 0,8 til 1,4 m over terræn. De største mængder (44-50 mg Pb/kg) findes i tre prøver lodret ovenpå hinanden i niveau med skudcentret, mens de udvaskede mængder i prøverne udad og nedad i profilet er aftagende fra 30 til 0,18 mg Pb/kg ved terrænniveau. Under terræn findes udvaskede mængder i området 0,01 til 0,08 mg Pb/kg. De tilsvarende koncentrationer i de enkelte batche fås ved at dividere de i figur 7 opgivne værdier for de udvaskede blymængder med L/S-forholdet på 2 l/kg, hvorved der for prøverne med de højest udvaskede mængder haves ligevægtskoncentrationer på 22-25 mg Pb/l.

Det er forventet, at de udvaskede blymængder har en fordeling i profilet i overensstemmelse med fordelingen primært af blyindholdet i jorden fundet ved syreoplukning. Dette ses også overordnet at være tilfældet, dog kan prøver, hvor de største udvaskede mængder findes, ikke umiddelbart korreleres til prøver med det højeste blyindhold i jorden. Grunden til dette er muligvis, som tidligere nævnt, at fine fragmenter af metallisk bly ikke registreres ved udvasningstesten, men derimod indgår som en del af jordens blyindhold bestemt ved syreoplukning. Det kan således forekomme, at høje koncentrationer fundet ved syreoplukning ikke svarer til høje koncentrationer af udvasningstest som følge af tilstedeværelsen af fragmenterede projektiler.



Figur 7. Fordelingen i profilerne af mængden af udvaskeligt bly fundet ved udvaskningstest ved L/S lig 2. Værdierne er angivet som udvasket bly i forhold til prøvemængden i den enkelte testbatch.

De udvaskede mængder af bly falder, som nævnt, ned gennem profilet i den nedre del af selve skydevolden under skudcentret (fra 0,8 m over terræn til terrænniveau), hvorved der opleves en faldende påvirkning af jorden fra projektilresterne i den ovenfor liggende del af skydevolden. Typiske koncentrationer af bly fundet i jordvæske i uforurenet jord opgives i størrelsesordenen 0,1-200  $\mu\text{g Pb/l}$  (Kjeldsen og Christensen, 1996), mens den højeste tilladelige koncentration af bly i drikkevand er 50  $\mu\text{g Pb/l}$  (Miljøministeriet, 1988). Sammenlignes dette med koncentrationerne fundet her ses, at der haves forhøjede værdier i hele profilet over terrænniveau, hvilket er analogt til situationen for jordens blyindhold, hvor der ligeledes er fundet forhøjede værdier i dette område af profilet.

I den nederste del af profilet under terræn findes udvaskede mængder i området 10-80  $\mu\text{g Pb/kg}$  svarende til ligevægtskoncentrationer på 5-40  $\mu\text{g Pb/l}$ . Koncentrationer af bly i grundvand kan findes i størrelsesordenen 0,1-50  $\mu\text{g Pb/l}$  (Kjeldsen og Christensen, 1996). De fundne værdier for bly i profilet under terræn er således ikke umiddelbart forhøjede set i forhold til, hvad der kan registreres i grundvand. Det må dog bemærkes, at koncentrationer på 20-40  $\mu\text{g Pb/l}$ , som fundet indenfor de første 20 cm under terrænniveau, stadig er væsentlige sammenlignet med værdierne på 5-10  $\mu\text{g Pb/l}$ , som er fundet i de nederste 20 cm af profilet. De tilsvarende koncentrationer fundet for referenceprofilerne ses at være af samme størrelse som værdierne i profilet under terræn, hvorfor det ikke kan konkluderes, at profilet under

terræn er påvirket af bly udvasket fra den øvre del af skydevolden. Jensen (1978) angiver blykoncentrationer i drænvand fra landbrugsarealer på gennemsnitlig 1,2 µg Pb/l.

Udvaskningstesten er som nævnt udført ved et L/S-forhold på 2 l/kg. Dette svarer for den konkrete skydevold til en udvaskningstid på ca. 70 år, hvilket kan beregnes ud fra nedenstående relation mellem L/S og udvaskningstiden:

$$t = (L/S) \cdot (\rho_b/d_v) \cdot (H/I)$$

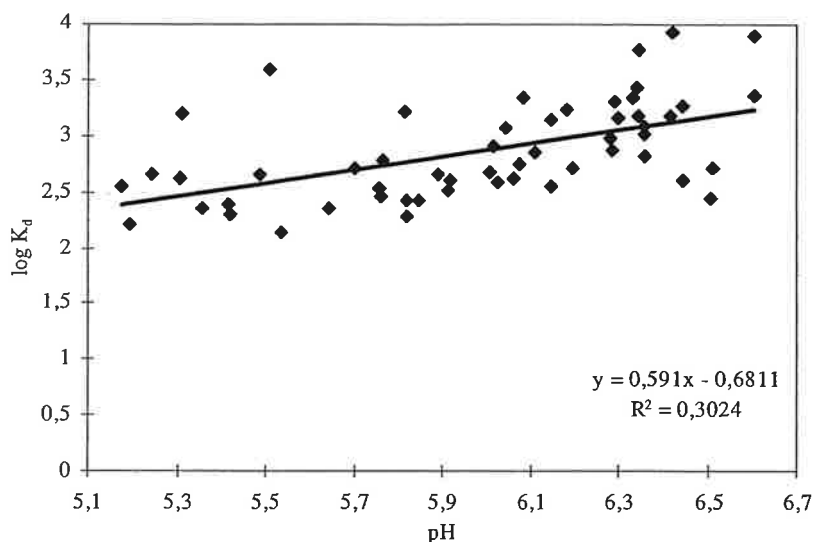
hvor t er udvaskningstiden,  $\rho_b$  er jordens volumenvægt (1,7 kg/l),  $d_v$  er jordvæskens massefylde (1 kg/l), H er voldens højde (2 m svarende til højden af profilet over terræn) og I er infiltrationen (100 mm svarende til en typisk værdi for infiltrationen på flad mark i Nordsjælland). De for profilet angivne mængder af udvasket bly skal således sættes i relation til en udvaskningstid på de 70 år svarende til omkring det dobbelte af skydeanlæggets nuværende alder.

På denne baggrund kan det konkluderes, at tilstedeværelsen af projektiler og projektilrester i skydevolden har medført, at bly er blevet transporteret til den nedre del af skydevolden under området, hvor der er fundet projektilrester, hvilket vil sige til niveauet under ca. 0,5 m over terræn. Det vurderes endvidere, at under skydevolden, det vil sige i profilet under terræn, ikke i væsentlig grad er påvirket som følge af opsamlingen af blyprojektiler i den øvre del af skydevolden. Når det tillige erindres, at blyindholdet i jorden under terræn havde værdier svarende til baggrundsniveauet i området, da kan det erkendes, at blyet i skydevolden ikke har påvirket forholdene i den oprindelige jord direkte under volden. Det er således sikkert, at grundvandet under skydevolden ikke er blevet påvirket af en udvaskning af bly fra skydevolden.

### 3.7 Udvaskeligt bly relateret til pH

I forbindelse med udvaskningstesten er pH blevet målt i batchene efter 72 timer. Dette kan anvendes til at undersøge sammenhængen mellem mængden af opløst bly efter rystning og pH i væsken. Som tidligere nævnt forventes divalente metalioner generelt ved sorptionsprocesser at bindes svagest til jorden under sure betingelser. Fordelingen af et metal mellem jord- og væskefasen kan beskrives ved fordelingskoefficienten,  $K_d$  beregnet som forholdet mellem koncentrationen i jorden og koncentrationen i væsken. I dette tilfælde, hvor det betragtede metal er bly, skal det bemærkes, at de bagvedliggende processer antages at kunne bestå både af sorptions- og udfældning/opløsningsprocesser, hvorfor de her fundne  $K_d$ -værdier ikke nødvendigvis skal ses som et resultat af en sorptionsproces.

Sammenhængen mellem  $\log K_d$  og pH forventes generelt at være lineær. Således er  $\log K_d$  optegnet som funktion af pH i figur 8, hvor det ses, at den overordnede relation mellem de to er forholdsvis lineær i det undersøgte pH-interval. Der er dog en vis variation på de enkelte datapunkter. Som helhed ses sammenhængen tillige at være aftagende for aftagende pH.



Figur 8. Log  $K_d$  som funktion af pH ved ligevægt for de enkelte udvaskningsbathe med angivelse af ligning og korrelationskoefficient for regressionslinien.

Der er fundet  $K_d$ -værdier i området 100-8400 l/kg fordelt over pH-intervallet 5,2-6,6, hvilket er en relativ stor spredning sammenlignet med andre tungmetaller som eksempelvis cadmium og nikkel. Dette skyldes formentlig at udfældnings/opløsningsprocesser spiller en rolle i visse prøver, hvorved  $K_d$ -værdierne forøges som følge af bly's relativt lave opløselighed. Andre undersøgelser (Kjeldsen og Christensen, 1996) har fundet  $K_d$ -værdier for bly i størrelsesordenen 400 l/kg ved pH 5,5, hvilket er i overensstemmelse med de her fundne værdier.

Et estimat for den gennemsnitlige fronthastighed ved udvaskningen af bly i skydevolden kan under umættede forhold beregnes ved følgende relation (Kjeldsen og Christensen, 1996):

$$V_s = N(\rho_b K_d)^{-1}$$

hvor  $V_s$  er udvaskningsfrontens hastighed,  $N$  er nettoinfiltrationen,  $\rho_b$  er jordens volumenvægt (1,7 l/kg) og  $K_d$  er fordelingskoefficienten (l/kg).

Transporten af bly i skydevolden kan på denne baggrund vurderes ud fra udvaskningsfrontens hastighed. For at opnå et så konservativt skøn som muligt anvendes den laveste af de her fundne  $K_d$ -værdier, hvilket vil sige  $K_d = 100$  l/kg. Dette medfører, at hastigheden hvormed bly kan antages at transporteres i volden med en nettoinfiltration på 100 mm/år er under 1 mm/år. Således ses det, at transporten af bly i skydevolden gennem de ca. 30 år, volden har eksisteret, kan andrage en størrelse af ca. 2 cm.

Det forventes her, at bly, der er tilstede i jordprøverne i form af projektilfragmenter, og således som metallisk bly, ikke i væsentlig grad vil kunne opnå ligevægt i testperioden på 72 timer. Det kan være rimeligt at se bort fra denne form for bly, og andet bly bundet på en måde hvorpå ligevægt med væskefasen kun opnås ved ekvibreringstider langt større end de anvendte 72 timer, idet dette bly kun i mindre grad vil være tilgængeligt for udvaskning.  $K_d$ -værdierne er beregnet ud fra blyindholdet fundet ved syreoplukning, der inkluderer al det tilstedeværende bly, og således også det bly, der ikke er tilgængeligt for udvaskning indenfor 50-100 år. Antages det således, som tidligere gjort, at en del af det tilstedeværende bly findes i form af metallisk bly, er de i figur 8 præsenterede log  $K_d$ -værdier reelt overvurderede. Dette medfører videre, at transporten af bly ned gennem skydevolden reelt er større end beregnet



ovenfor. Haves eksempelvis en situation, hvor  $K_d$ -værdierne burde være en størrelsesorden lavere end beregnet her, fås en transport på ca. 0,6 cm/år, hvilket svarer til ca. 0,2 m over de 30 år.

Sammenholdes disse overvejelser med de tidligere viste resultater, må det erkendes, at der i de forløbne ca. 30 år er foregået en vis transport af bly ned gennem skydevolden dog næppe af en sådan størrelse, at væsentlige blymængder er blevet transporteret fra selve skydevolden og til den oprindelige jord under skydevolden.

### **3.8 Potentiel udvaskning af bly fra skydevolden**

Som tidligere vist blev der fundet ganske høje koncentrationer af bly i væskefasen ved udvaskningstestene med jord fra prøverne ud for skudcentret; ca. 20 mg Pb/l. Da det ligeledes er fundet, at en vis migration af bly ned gennem skydevolden er sandsynlig, vil det være rimeligt at antage, at koncentrationer i dette niveau efter lang tids udvaskning vil kunne findes ved bunden af skydevolden.

Ved en vurdering af den maksimale udvaskning ved bunden af skydevolden kan tages udgangspunkt i den del af volden, der med rimelighed kan forventes at indeholde blyprojektiler. Denne del antages her ikke at udgøre hele voldens dybde men kun den forreste halvdel umiddelbart bagved de 6 skiver (2,5 m), og i længden kun svarende til udbredelsen af de 6 standpladser plus ekstra 0,5 m i hver ende (ialt 6 m). Forudsættes en nettoinfiltration på 100 mm/år og de nævnte 20 mg Pb/l fås med et grundareal af volden på 15 m<sup>2</sup> (6 m lang og 2,5 m bred) en maksimal årlig udvaskning på 2 g Pb/m<sup>2</sup> svarende til en samlet udvaskning fra volden på 30 g Pb/år. Sammenlignes dette med en baggrundsværdi på 2 g Pb/ha i drænvand fra landbrugsjord (Jensen, 1978) ses, at den her fundne maksimale udvaskning fra skydevolden er ca. 10.000 gange større end, hvad der kan forventes fra landbrugsjord generelt. Udvasningen svarer således til den tilsvarende udvaskning fra ca. 15 ha landbrugsjord.

## 4. Konklusion

Fordelingen af bly i en skydevold, beliggende i 24. kreds ved Lille Lyngbyvej 33, 3320 Skævnings, hørende under De Danske Skytteforeninger er blevet undersøgt med henblik på at vurdere den konkrete risiko for udvaskning af bly. I forbindelse med undersøgelsen er udtaget en række jordprøver i et profil lodret ned gennem skydevolden ud for skudcentret ved en udvalgt standplads samt i to referenceprofiler udenfor skydevolden. På de udtagne prøver er udført en række analyser, herunder registrering af jordens naturlige pH, mængden af projektiler, jordens blyindhold fundet ved syreoplukning samt karakterisering af jordens udvaskningsegenskaber med hensyn til bly.

Det er fundet, at den konkrete skydevold repræsenterer en "worst-case"-situation i forhold til udvaskning af bly, idet jorden i skydevolden har en naturlig halvsur pH, og der tillige er store mængder af blyprojektiler tilstede, lokalt er op til 40 % blyprojektiler.

Det er på denne baggrund fundet, at jordens naturlige pH i profilet i skydevolden er i området 4,5-7,0. De største mængder af projektiler og projektilrester er fundet i profilet ud for skudcentret i mængder op til 380 g Pb/kg. Jordens blyindhold bestemt ved syreoplukning er videre fundet med de højeste koncentrationer i samme område af profilet med værdier på maksimalt 96 g Pb/kg. Det er estimeret, at den samlede mængde bly opsamlet i skydevolden ud for den undersøgte standplads svarer til ca. 80 kg. Udvaskelige blymængder er ved udvaskningstest ved et L/S-forhold på 2 l/kg fundet til maksimalt 49 mg Pb/kg i førnævnte område ud for skudcentret med aftagende værdier nedad i volden fra 31 mg Pb/kg til 0,2 mg Pb/kg i terrænniveau og i området 0,01-0,08 mg Pb/kg i profilet under terræn.  $K_d$ -værdier for bly i skydevolden er bestemt i området 100-8400 l/kg for pH i intervallet 5,2-6,6.

Det er således konkluderet, at den konkrete skydevold i høj grad er påvirket af opsamlingen af blyprojektiler over en 30-årig periode resulterende i forhøjede blykoncentrationer i jorden i skydevolden og forhøjede mængder af udvaskeleg bly. Det er dog ikke fundet, at jorden umiddelbart under skydevolden er påvirket af tilstedeværelsen af blyprojektiler i skydevolden, idet jorden under terræn ikke udviser forhøjede værdier i forhold til de to referenceprofiler.

Det er derfor vurderet, at der ikke har foregået nogen udvaskning af bly fra skydevolden til jorden under skydevolden.

## 5. Referencer

DS (1980): Tørstof og gløderest. Dansk Standard DS 204. Dansk Standardiseringsråd, København.

DS (1990): Metaller i vand, slam og sediment. Dansk Standard DS 2210. Dansk Standardiseringsråd, København.

DS (1996): Karakterisering af affald - Stofudvaskning - Overensstemmelsestest til undersøgelse af udvaskning fra granulære affaldsmaterialer - Bestemmelse af udvaskningen af komponenter fra granulære affaldsmaterialer og slam. Forslag til Dansk Standard. Dansk Stand, København.

Hedeselskabet (1994a): Undersøgelse af kuglefang, Varde Skydebane og Constantia Skydebane. Forsvarets Bygningstjeneste, København.

Hedeselskabet (1994b): Undersøgelse af blyindhold i jordprøver fra Varde Skydebane. Forsvarets Bygningstjeneste, København.

Hedeselskabet (1994c): Muligheder for håndtering af blyholdigt kuglefangsmateriale. Forsvarets Bygningstjeneste, København.

Jensen, J. (1978): Indhold af B, F, Mn, Cu, Cd, Pb og Zn i drænvand. 1427. beretning fra Statens Planteavlsvforsøg. Tidsskrift for Planteavl, 82, 540-548.

Kjeldsen, P.; Christensen, T.H. (1996): Kemiske stoffers opførsel i jord og grundvand. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, nr. 20. Miljøstyrelsen, København.

Landbrugsministeriet (1972): Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyser. Landbrugsministeriet, København.

Miljøministeriet (1988): Bekendtgørelse nr. 515 af 29. august 1988 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg. Miljøministeriet, København.

Nielsen, E; Larsen, P.B.; Hansen, E.; Ladefoged, O.; Mortensen, I.; Strube, M.; Poulsen, M. (1995): Toksikologiske kvalitetskriterier for jord og drikkevand. Projekt om jord og grundvand fra Miljøstyrelsen, nr. 12. Miljøstyrelsen, København.

Petersen, L (1986): Grundtræk af Jordbundslæren. DSR Forlag, Landbohøjskolen, København.