

Markinventering av kol, kväve och organiskt material i podsol vid Skogaryd Research Catchment

Hanna Tinnerholm

Degree of Bachelor of Science
with a major in Earth Sciences
15 hec

Department of Earth Sciences
University of Gothenburg
2022 B-1176



Markinventering av kol, kväve och organiskt material i podsol vid Skogaryd Research Catchment

Hanna Tinnerholm

ISSN 1400-3821

B1176
Bachelor of Science thesis
Göteborg 2022

Mailing address
Geovetarcentrum
S 405 30 Göteborg

Address
Geovetarcentrum
Guldhedsgatan 5A

Telephone
031-786 19 56

Geovetarcentrum
Göteborg University
S-405 30 Göteborg
SWEDEN

Sammanfattning

Jord är en livsnödvändig resurs som återfinns på många platser i världen med varierande karaktär och mäktighet. Jorden agerar som en reservoar för diverse näringsämnen, bland annat kol och kväve, som tas upp och används av terrestra växter och jordlevande organismer. Mängden kol och kväve samt kvoten mellan dem, varierar mellan olika klimat och jordmåner och kan ge en uppfattning om hur gynnsam eller bördig miljön är. Andra parametrar som organiskt material, bulkdensitet och markfuktighet kan också skapa mer eller mindre fördelaktiga förhållanden i jorden. Syftet med detta arbete är att i området Kaserna, en boreal skog på 4,5 ha vid Skogaryd Research Catchment i sydvästra Sverige, försöka kvantifiera kol- och kvävebudgeten i podsolen. Mängden organiskt material samt några fysiska jordparametrar ska även undersökas. Detta genomfördes med hjälp av provtagning i fält från 17 provplatser i ett rutnät, där individuella jordprover togs från varje synbar horisont, samt prover för bulkdensitet vid 4 av dessa provplatser. Samtliga jordprover vägdes och torkades i ugn för att kvantifiera vattenhalten och bulkdensiteten. Sedan maldes proverna och kol- och kvävehalten analyserades i en Isotope Ratio Mass Spectrometer (IRMS). Mängden organiskt material erhöles genom bränning av proverna. Observationerna i fält visade att mäktigheten i området var varierande och relativt tunn. Detta kan bero på en varierande berggrund eller individuella block under markytan som gav intrycket av ett tunnare lager jordmån än verkligheten. Mängden kol och kväve i massprocent var representativa för en vanlig svensk skog, men en aning låga i jämförelse med globala jordprofiler för samma jordmån när de beräknades i kg/m^2 . Dessa värden beräknades dock med hjälp av bulkdensiteten som också var betydligt lägre i jämförelse, samt att beräkningarna var beroende av djupet på varje provplats. Resultaten visade dessutom att vattenhalten i området hade en relativt stor korrelation med mängden kol och organiskt material, vilket i sin tur förmodligen påverkades av de lokala sänkorna och upphöjningarna i området.

Nyckelord: Kolbudget, Kvävebudget, Kaserna, Bulkdensitet, Markfuktighet, C:N kvot

Abstract

Soil is an essential natural resource that is found all over the world with varying characteristics and thickness. The soil acts as a reservoir for several nutrients, mainly carbon and nitrogen, that are absorbed and used by terrestrial plants and soil microbes. The amount of carbon and nitrogen as well as the ratio between them, varies with different climates and soil types and can provide an understanding of how favourable and fertile the soil is. Other parameters such as soil organic matter (SOM), bulk density and soil moisture will also make the soil more or less habitable. The purpose of this thesis is to study and quantify the amount of carbon, nitrogen and SOM in the podzol within Kaserna, a boreal forest of 4.5 acres that is part of Skogaryd Research Catchment in the Southwest of Sweden. Other physical soil parameters will also be investigated. This was done by in situ soil sampling at 17 different sites within a grid, where soil samples were taken from each visible horizon as well as separate bulk density samples from 4 of those sites. All samples were dried in an oven and weighed to quantify the water content and bulk density, and they were then ground into smaller fragments and analysed with an Isotope Ratio Mass Spectrometer (IRMS) to calculate the amount of carbon and nitrogen. The SOM was calculated by burning the samples at a hot temperature and then weighing them again. The in-situ observations showed that the thickness of the podzol varied spatially and was relatively thin. An explanation for this could be the presence of a varying rock layer underneath or individual larger blocks of rock that would make it appear shallower than it really was, as well as having a relatively young and undeveloped soil profile. The amount of carbon and nitrogen was representative for regular Swedish forests, while compared to values from global soil profiles of the same soil type they were slightly lower. However, these values were calculated based on the values for bulk density which also were significantly lower than expected as well as the depth of each sample site. The results also showed a relatively high correlation between water and carbon, as well as water and organic matter, which in turn was most likely affected by the varying topography with local highs and lows in the area.

Key words: Carbon budget, Nitrogen budget, Kaserna, Bulk density, Soil moisture, C:N ratio

Innehållsförteckning

Sammanfattning	2
Abstract	3
Innehållsförteckning	4
1. Inledning	6
1.1. Syfte	6
1.2. Frågeställningar	6
2. Bakgrund	7
2.1. Näringsämnen i jord	7
2.1.1. Kol	7
2.1.2. Kväve	7
2.1.3. Kol-till-kväveknot	8
2.1.4. Organiskt material	8
2.2. Fysiska jordegenskaper	9
2.2.1. Bulkdensitet	9
2.2.2. Markfuktighet	9
2.3. Podsol	10
2.4. Litosol	11
2.5. Effekter av skogsbruk	11
3. Lokalbeskrivning	11
4. Metod och material	12
4.1. Statistik och GIS	12
4.2. Provtagning i fält	13
4.3. Laborationsanalyser och beräkningar	14
4.3.1. Kol och kväve	14
4.3.2. Organiskt material	14
4.3.3. Bulkdensitet	15
4.3.4. Gravimetrisk vattenhalt	15
5. Resultat	16
5.1. Djup och horisonter	16
5.2. Kol	18
5.3. Kväve	20
5.4. C:N-kvot	23
5.5. Organiskt material	24
5.6. Bulkdensitet	26

5.7. Gravimetrisk vattenhalt	27
5.8. Korrelationsanalyser	28
6. Diskussion	28
6.1. Djup och horisonter	28
6.2. Kol & kväve	29
6.2.1. C:N-kvot	30
6.3. Organiskt material	31
6.4. Bulkdensitet	31
6.5. Felkällor	32
7. Slutsats	32
Tack	32
Referenser	33

1. Inledning

Jord är en av de viktigaste resurserna på vår planet och många livsviktiga industrier och verksamheter som jordbruk, skogsbruk och trädgårdsbruk är helt beroende av jord och dess kvalitet (Marshak, 2015). Allt från maten vi äter och det rena vattnet vi dricker till kläderna vi har på oss, har vi jorden att tacka för, vilket är varför kvaliteten hos jorden är viktig att bibehålla. Jord anses vara en begränsad, förnybar naturresurs då processen att skapa ny jord är ständigt pågående, men kan vara under en mycket lång tid. (Soil Science of America, u.å.).

Sammanfattningsvis består jord av vatten, luft, organiskt material och mineraler som alla reagerar och interagerar med varandra. Mängden av varje komponent i förhållande till de andra påverkar kvaliteten, texturen och bördigheten hos jorden (Soil Science of America, u.å.). Andra faktorer som bidrar till tillväxt och ökad biodiversitet är diverse näringsämnen. Jorden agerar som en reservoar för bland annat kol och kväve, där stora mängder av ämnena lagras och brukas av växterna och mikroorganismerna som lever där. Vegetationstyp, klimat, jordart, topografi och skogsbruk är faktorer som kan påverka både mängden och utsträckningen av kol och kväve (Jobbágy & Jackson, 2000) (USDA, u.å.). Det är därför viktigt att inte bara ha en överblick av vad och hur mycket av varje näringsämne som finns i jorden, utan även hur olika aktiviteter påverkar kvaliteten, för att på bästa sätt veta hur skogen och därav även jorden, ska hanteras.

I det här arbetet ska en empirisk undersökning utföras vid Skogaryd Research Catchment. Jordprover kommer tas från området Kaserna där halten kol, kväve och organiskt material ska undersökas och kvantifieras. Någon liknande inventering har ej gjorts tidigare i området, vilket är varför det här arbetet kommer kunna vara till nytta inför framtida undersökningar och aktiviteter i området.

1.1. Syfte

Syftet med detta arbete är att undersöka hur olika jordparametrar varierar spatialt och över olika horisonter i ett begränsat område inom Skogaryd SITES.

1.2. Frågeställningar

- Hur varierar djupet och de korresponderande, synliga horisonterna på de olika provplatserna?
- Hur stor är mängden kol och kväve i de olika horisonterna på samtliga provplatser?
 - Hur varierar ration C:N i de olika horisonterna på samtliga provplatser?
- Hur stor är mängden organiskt material i de olika horisonterna på samtliga provplatser?
- Hur varierar bulkdensiteten i de olika horisonterna på samtliga provplatser?
- Hur varierar den gravimetriska vattenhalten i de olika horisonterna på samtliga provplatser?
 - Hur korrelerar den gravimetriska vattenhalten med halten kol, kväve och organiskt material?

2. Bakgrund

2.1. Näringsämnen i jord

2.1.1. Kol

Kol existerar i många olika former och återfinns i majoriteten av alla miljöer på jorden i så kallade kolreservoarer. I reservoarerna lagras kolet och mellan dessa sker det ett konstant och pågående utbyte, så kallade flöden, som bildar cykler på både mikro- och makroskala. Exempel på utbyten är koldioxid i atmosfären som tas upp av växter och genomgår fotosyntes, och därav omvandlas till energi, eller marina organismer som tar upp karbonater i havet för att bilda skal som sedan faller ner till botten och packas till en karbonatrik, sedimentär bergart. Majoriteten av kolet är i formen av organiskt material som bildats av levande organismer och växter, till exempel löv, grenar, rötter, mikroorganismer och döda växter och svampar. Eftersom kolet framför allt fylls på ovanifrån minskar kolmängden generellt med djupet. Nedbrytningsprocessen av materialet sker med hjälp av svampar och mikroorganismer och kan pågå under flera år, vilket leder till att jorden under tiden fungerar som en reservoar för det organiska kolet. Under nedbrytningsprocessen återgår mycket av kolet som var lagrat i växtmaterialet till atmosfären (University of New Hampshire, 2009).

I ett mårlager, som består till största delen av organiskt material men också en del mineraljord som sand- och gruskorn, kan halten kol i uppgå till ca 35-40 % medan i ett mullager är halten betydligt lägre eftersom det sker mer omblandning där av jordlevande organismer, och därav är andelen mineraljord mycket större vilket sänker halten kol till ca 5-10 %. I en svensk skog ligger kolmängden i den översta metern i marken på 6 till 14 kg/m² med högre värden i bördiga och/eller fuktiga områden (Markinfo, 2021).

Faktorer som kan påverka mängden och distributionen av kol i jorden är bland annat vegetationstyp, klimat, jordart och djup. I en studie publicerad år 2000 av Jobbágy och Jackson, jämfördes bland annat mängden organiskt kol i jorden i områden med olika typ och mängd vegetation. De kom fram till att områden med skog innehöll mer organiskt kol i de översta 20 cm relativt den översta metern, jämfört med områden som var täckta i buskage eller gräsmark. Gräsmark innehöll dock mer organiskt kol än busklandskap. Samma trend påvisades vid två samt tre meter ner i jordprofilen, men som tidigare nämnt minskade den absoluta mängden kol med djupet. Dock var det inte vegetationstypen som hade störst inverkan på den absoluta mängden kol, utan det visade sig vara klimatet. Mängden kol ökade med mängden nederbörd och lera, men minskade med temperaturen. Det vill säga, störst mängd kol påträffades i tropiska, vintergröna skogar och minst mängd kol i kalla, torra busklandskap (Jobbágy & Jackson, 2000).

2.1.2. Kväve

Likt kol, existerar även kväve i många olika former i jorden. Det är en livsviktig komponent och byggsten för växter och mikroorganismer, och därav även för oss. Vissa växter kräver att kvävet är i en viss form för att de ska kunna använda det och en omvandling måste därav ske. Detta utförs av bland annat kvävefixerande bakterier som kan binda det fria kvävet, N₂, och omvandla det till ammonium, NH₄⁺, som sedan kan tas upp av övriga växter och organismer. Kväve är ofta det begränsande näringsämnet i jorden, vilket innebär att i jämförelse med de andra näringsämnena finns kvävet i minst mängd och begränsar därför tillväxten hos växter. Genom att tillsätta mer av ett

begränsande ämne skulle tillväxten öka, medan tillsättning av ett icke-begränsande ämne inte skulle ha någon effekt (Khan Academy, u.å.).

Kväve fylls på i marken naturligt när det regnar, genom torrdeposition och kvävefixering, men också genom tillsättning av gödsel och annan växtnäring. Faktorer som fuktighet i jorden, lutning i området och jordtyp kan påverka hur väl kvävet sedan stannar kvar i jorden. Ökad nederbörd tillsammans med varierande topografi och jordart med hög porositet kan leda till kväveförluster och urlakning. Å andra sidan kan jordar med sämre dränering och hög fuktighet leda till denitrifikation, vilket innebär att kvävet omvandlas återigen till kvävgas och släpps ut till atmosfären. Syrenivå och salinitet i jorden kan också påverka hur väl kvävet behålls (USDA, u.å.).

I vanliga, svenska skogsmarker varierar kvävehalten i det organiska lagret mellan $0,96$ och $1,30$ %. Största delen av landet har en halt mellan 1,08 och 1,18 %, vilket även gäller för området kring Kaserne (Markinfo, 2020).

2.1.3. Kol-till-kväveknot

Kol-till-kväve kvoten (C:N) i jorden är ett mått på hur mycket kol det finns i förhållande till kväve, och vice versa. En C:N kvot på 10:1 innebär att det för varje enhet kväve, finns tio enheter kol. Ration har en stor betydelse när det kommer till jordbruk och att optimera förhållandena för växter och grödor. För att mikrober i jorden ska kunna omvandla och släppa ut näringsämnen som kväve, fosfor och zink som sedan växterna använder, är en C:N kvot på 24:1 optimal. Skulle ett medium med högre kvot adderas till jorden behöver mikroberna hitta en annan källa till kväve för att motsvara den större mängden kol, till exempel överblivet kväve i jorden, vilket kan skapa en kvävebrist för resten av växterna tills mikroberna dör och det bundna kvävet blir tillgängligt igen. Skulle ett medium med lägre C:N kvot introduceras sker liknande process fast omvänt, det vill säga att det i stället kommer finnas ett överskott av kväve. Detta kväve finns då tillgängligt för växter och andra mikroorganismer att bruka (USDA, 2011).

I den svenska skogens humuslager ligger kvoten mellan kol och kväve vanligtvis runt 20:1, men undantag finns beroende på hur mycket det organiska materialet är nedbrutet. I de norra delarna av landet kan kvoten uppgå till 40:1, medan den i de södra delarna ligger mellan 20:1 och 30:1 (Markinfo, 2020).

2.1.4. Organiskt material

Allt organiskt material i jorden som är av eller kommit från levande organismer definieras som markens organiska material, eller *Soil Organic Matter* (SOM) på engelska (Chenu m.fl., 2015). Trots att det organiska materialet är en betydelsefull kolreservoar, utgör det generellt endast 1-5% av den totala jordmassan. Utöver att vara en reservoar för majoriteten av kolet och kvävet i jorden, bidrar det organiska materialet till att bibehålla stabiliteten och formen hos resten av jordmassan. Det kontrollerar genomsläppligheten av vatten där en högre andel organiskt material leder till en långsammare infiltration och avrinning, vilket i sin tur minskar risken för översvämningar (Hatten & Liles, 2019).

Skillnaden mellan markens organiska material och markens kolinnehåll är att det organiska materialet innehåller föreningar som består av mer än bara kol. Till exempel består de främsta föreningarna av bland annat kväve och/eller syre som genomgår en rad omvandlingar och bildar humusämnen.

Humusämnen är en typ av biopolymer och reagerar gärna med organiska och icke-organiska föreningar (Matocha, 2005). Detta kan till exempel vara giftiga metaller som finns i jorden, och det gör att kvaliteten ökar och det skapas en mer livsduglig miljö för växterna som lever där (Hatten & Liles, 2019). En estimering av hur stor del kolet utgör av det organiska materialet är 58%, men det varierar beroende på djup och typ av jordmån (Pluske & Murphy, u.å.).

Ju mer primärproduktion från växter och andra levande organismer, tillsammans med en långsammare nedbrytning, desto mer organiskt material tillförs det generellt till jorden. Likt de faktorer som kontrollerar mängden kol, styrs mängden organiskt material signifikant av klimatet. Störst mängd organiskt kol hittas oftast i träsk och våtmarker där nedbrytningen sker långsamt på grund av låga nivåer av syre, men där det också produceras mycket nytt material på grund av det varma och fuktiga klimatet (Horwath, 2007).

2.2. Fysiska jordegenskaper

2.2.1. Bulkdensitet

Bulkdensitet är ett mått på hur kompakt en jord är och anges i vikt per volym. Volymen innefattar samtliga jordpartiklar och vatten- eller luftfyllda porutrymmen, vilket innebär att bulkdensiteten kan ha ett relativt stort spann beroende på jordart och mättnad. En sandig och grusig jord tenderar att ha en högre bulkdensitet i jämförelse med en jord rik på lera eller silt. En högre bulkdensitet än ca $1,5 \text{ g/cm}^3$ kan leda till minskad rörlighet och framkomlighet för rötter, vilket i sin tur hindrar tillväxten hos växter. Generellt brukar en sandig jord ha en bulkdensitet på $1,3\text{-}1,7 \text{ g/cm}^3$, medan en lerig/siltig jord kan variera mellan $1,1\text{-}1,6 \text{ g/cm}^3$. Jord som är rik på organiskt material, som brukar ha lägre vikt, kan ha så låg bulkdensitet som $0,5 \text{ g/cm}^3$ (Brown & Wherret, u.å.).

Utöver jordart kan även mängd organiskt material ha en inverkan på bulkdensiteten. En ökad mängd organiskt material kan öka stabiliteten och hållfastheten hos marken, vilket i sin tur leder till minskad komprimerbarhet. Genom att öka motståndet mot deformation och minska elasticiteten, kan grenar och rötter förhindra marken underifrån att komprimeras när trycket ökar ovanifrån, när exempelvis fordon passerar. Även en relativt liten förändring i organiskt material kan påverka bulkdensiteten märkbart (Soane, 1990).

2.2.2. Markfuktighet

Hur fuktig en jord är kan uttryckas med hjälp av den gravimetriska vattenhalten, vilket förklarar hur stor andel vattnet utgör av hela jordmassan. Till skillnad från det volumetriska vatteninnehållet baseras det gravimetriska på massa och inte volym. Vikten mäts först vid fältförhållande och sedan efter torkning i ugn. Därefter kan ett värde för vattenhalten beräknas (Voroney, 2019).

Vatteninnehållet hos en sandig jord kan variera mellan 3% och 10% medan innehållet hos en lerig jord kan variera mellan 20% och 40%. Hos en organisk, torvrik jord kan vatteninnehållet vara ännu högre (Brandt m.fl., 2017). Oavsett spelar vattenhalten en väsentlig roll i marken och har en betydande inverkan på ration av avrinning och infiltration efter nederbörd, grundvattentillförsel, jordens värmeledningsförmåga och torra (Cools & De Vos, 2013).

Markens vatteninnehåll har även en central inverkan på tillväxten av biomassan ovan jord. Det finns ett direkt samband mellan mängden vatten som finns tillgängligt och tillgången av syre och kolväten,

som båda är nödvändiga för tillväxt. Även rottillväxten påverkas av mängden vatten då en torr jord leder till att nya rotskott bildas för att växten ska kunna ta vara på så mycket vatten som möjligt, vilket i sin tur kan göra att biomassan under jord ökar mer än den gör ovan jord (Lynch m.fl., 2012).

2.3. Podsol

Ibland kan jord vara homogen och inte ha någon tydlig indelning alls, men hos framför allt jord som är relativt orörd kan det finnas synliga lager av olika färger och egenskaper, dessa kallas för *horisonter*. Jord kan klassificeras baserat på horisonternas egenskaper och den dominerande jordmånen i Sverige är den så kallade *podsol* (Skogsencyklopedin, u.å.). Globalt täcker podsolen 485 miljoner hektar och är vanligast påkommen i tempererade områden i den norra hemisfären.

En podsol bildas genom vittring av ett ofta kiselhaltigt, okonsoliderat ursprungsmaterial som sandsten, men också av material från granotoider och gnejs som eroderat och transporterats med hjälp av glaciala och postglaciala processer (Spaargaren, 2008). I en podsol ingår vanligtvis horisonterna L, O, A, E, B och C, som representerar olika mängder organiskt material eller mineraler. L-horizonten består av förna, vilket är det lager som finns ovanpå jorden och inkluderar mossa, barr och fallna löv etc. O-horizonten, eller mårлагret, utgörs av organiskt material, bland annat den nedbrutna förnan. A-horizonten är en övergångszon mellan O- och E-horizonten och består som mest utav 30% organiskt material (Skogsencyklopedin, u.å.), dock saknar de flesta boreala skogarna en A-horizont (Spaargaren, 2008). Med hjälp av aktiviteten hos mikroorganismerna sker även produktion av kelater i O-horizonten. Kelaterna, tillsammans med organiska syror som rinner ner genom marken, påskyndar den kemiska vittringen i jorden. Detta leder till att ett blekjordslager uppstår, också kallad E-horizonten. Produkterna från vittringen reagerar sedan med kelaterna som fortsätter transporteras nedåt, och utfällningar av järn- och aluminiumoxider sker, vilket bildar rostjorden, B-horizonten. Under denna kommer C-horizonten som representerar underlaget (Skogsencyklopedin, u.å.).

Podsoler kan delas in i olika subklasser baserat på vilken typ av miljö de bildats i och därmed också hur horisonterna har utvecklats. Lavpodsoler har svagt utvecklade horisonter, ett tunt humuslager och bildas oftast i väldigt torra miljöer. Humuspodsoler å andra sidan, bildas i odränerade områden med höga grundvattennivåer. Det leder till att de blir rika på organiskt material och därav också mörka i färgen. Järnpodsoler karaktäriseras av att B-horizonten ofta är starkt rostorange i färgen, och de kan finnas i områden som har lite lägre grundvattennivå och som är bättre dränerade. Den sista subklassen är järnhumuspodsoler som likt järnpodsoler är rostorange i anrikningshorizonten, men skillnaden är att de översta delarna av samma lager ofta är väldigt mörka av humus (Skogsencyklopedin, u.å.).

Majoriteten av mineralerna i en podsol består av kvarts och kalifältspat. Kvarts, som ofta är färglös, är karaktäristisk för den bleka E-horizonten, medan både kvarts och kalifältspat återfinns i bland annat B-horizonten där de ofta är färgade rödbruna av organiskt material och järn. Ofta är podsoler väl-dränerade, speciellt om de innehåller en högre andel sand, samt att de har ett lägre pH-värde vilket leder till att de kan ha en mindre biodiversitet än andra jordar (Spaargaren, 2008). Jämförelsevis innehåller podsoler en stor mängd organiskt kol i de övre horisonterna, vilket delvis beror på att de är mer toleranta för mikrobiell nedbrytning på grund av det låga pH-värdet i jorden. Detta gör att podsoler kan spela en viktig roll i bekämpningen av klimatförändringar (Brock, m.fl., 2020).

I en studie utförd av N. H. Batjes år 2014 skapades en sammanställning av olika jordtyper och de viktigaste parametrarna baserat på globala data över 4353 olika jordprofiler. Parametrarna som

undersöktes var bulkdensitet och mängden och förhållandet mellan kol och kväve. För podsol varierade värdet för bulkdensitet mellan 0.52 Mg/m^3 och 2.16 Mg/m^3 och medelvärdet låg på 1.32 Mg/m^3 . Mängden kol i de översta 30 cm var 13.6 kg/m^2 och mängden kväve på samma djup var 0.81 kg/m^2 . För järnpodsol på samma djup var mängden kol 17.6 kg/m^2 . Ration C:N för podsol uppskattades till 23.8 i de översta 30 cm.

2.4. Litosol

Litosol eller leptosol syftar till en jordmånsgrupp som ofta har en liten mäktighet och svagt utvecklade horisonter. Leptosol är en klassifikationsgrupp av FAO/UNESCO som ofta är synonymt med litosol, som är en relativt vanlig jordmån i Sverige. Litosolen karaktäriseras av att vara maximalt 10 cm tjock och återfinns på berghällar. Den anses vara relativt ung vilket förklarar varför den sällan har utvecklade jordmåns horisonter (Skogensencyklopedin, u.å.).

2.5. Effekter av skogsbruk

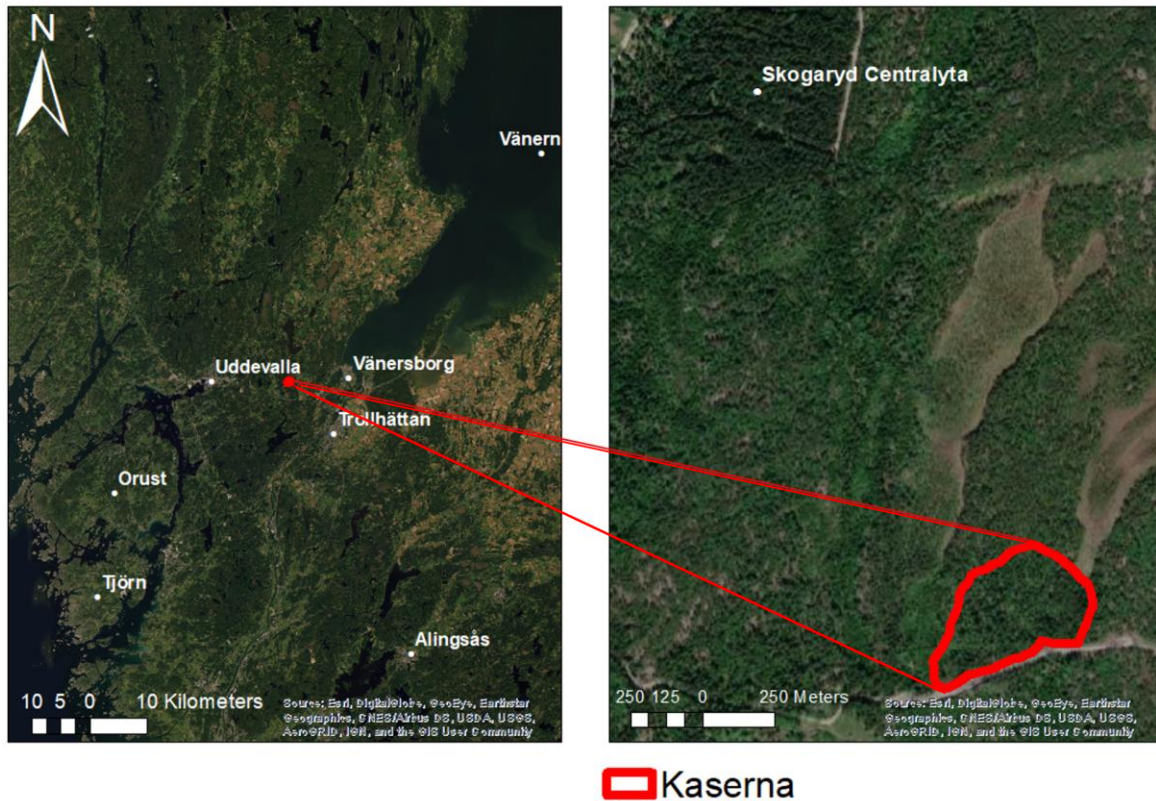
Olika typer av skogsbruk eller aktiviteter i skog kan påverka både kvaliteten och kvantiteten hos jorden i skogen. Skogsbruk är en viktig praktik och inkluderar många delar utöver själva nedhuggningen av träd, vilka oundvikligen kommer ha negativa effekter på jorden. En av delarna som ingår är vägbygge, vilket leder till kompaktion av marken och ökad avrinning samt ger en direkt minskning av skogsyta. Även utan en riktig väg kommer samma konsekvenser uppstå, dock inte i samma utsträckning, om tunga fordon kör genom skogen. Timmeravverkning leder till en minskad mängd träd vilket minskar den totala evapotranspirationen som sker, som då leder till ett ökat vattenflöde både under och över markytan. Även kvävemängden i jorden påverkas av avverkning, men hur stor förlusten blir kan vara beroende på hur stor del av trädet som huggs ner. Genom att endast avlägsna stammen och inte hela trädet kan förlusterna minska, samt att låta skogen och jorden återhämta sig mellan cyklerna av avverkning. En annan effekt av skogsbruk är erosion, vilket är en process som sker naturligt i jordmassor och berg, men kan också orsakas av diverse mänsklig aktivitet som nämnts ovan. Erosionen leder till att mängden förna minskar, det vill säga materialet som utgör L-horisonten, som är den största källan till olika näringsämnen och organiskt material som senare tillförs till jorden. Något som faktiskt kan ha en positiv effekt är skogsbränder, som sker både naturligt och med hjälp av mänskligt inflytande. Trots att de på kort sikt leder till minskad mängd förna kan de även minska skadedjur och sjukdomar i skogen.

Vissa aktiviteter påverkar skogen och jorden mer än andra och vid planering av avverkning borde vissa aspekter tas till hänsyn för att bevara kvaliteten så mycket som möjligt, till exempel erosionskänsliga områden, vatten- och grundvattenkällor samt hur mycket och ofta träd avverkas (Elliot m.fl., 1999).

3. Lokalbeskrivning

Området där proverna samlades in kallas för *Kaserna* och ingår i Skogaryd SITES (Figur 1). Det är ca 4,5 ha stort och ligger ca 2 km sydost om Skogaryds centralyta. Vegetationen ovan mark består mestadels av granar som planterades där för ca 67 år sedan, men det finns även en del mindre björkar och blåbärsris som kommit upp naturligt. Topografin är varierande men lutar generellt norrut, alltså bort från den nybyggda vägen söder om området.

En del block och stenar är synliga ovan mark och precis utanför området kan större delar av det underliggande berget urskiljas, samt en tydlig vittringsfront mellan berg och ovanliggande jordlager. Enligt SGU:s app *Kartvisaren* består berggrunden av en tonalit-granodiorit, och är enligt egna observationer anmärkningsvärt sprött och sönderdelat där det är i kontakt med jordlagren.



Figur 1. Karta över var området Kaserna ligger i förhållande till närliggande städer, samt i förhållande till Skogaryd Centralyta.

4. Metod och material

Eftersom detta arbete består av både fält- och labbarbete innehåller metodavsnittet flera delavsnitt. De är sammanfattade nedan.

- Statistik och GIS
- Provtagning i fält
- Laborationsanalyser och beräkningar
 - Kol och kväve
 - Organiskt material
 - Bulkdensitet
 - Gravimetrisk vattenhalt

4.1. Statistik och GIS

För att ta reda på hur många provplatser som behövdes användes information från tabell 1.1 och 1.2 i boken Carter & Gregorich - *Soil Sampling Methods* (2007) av Pennock, D., Yates, T. och Braidek, J. För organiskt kol var variationskoefficienten 15-35% och för bulkdensitet var den <15%. För ett konfidensintervall på 0.95, ett absolutfel på 0.10 och en variationskoefficient på 20% var 17

provplatser rekommenderade. För samma konfidensintervall och absolutfel men en variationskoefficient på 10% var 4 prov rekommenderade för bulkdensitet. Detta var oberoende storleken på området.

För att veta var de 17 provplatserna skulle befinna sig markerades först området i fråga ut i ArcMap 10.7.1. En basemap lades in via ArcMap och användes för att lokalisera området Kaserna som sedan kunde markeras i en ny shapefil. Sedan kunde ett rutnät av lämplig storlek läggas på så att 17 punkter hamnade inom gränserna för området. Dessa blev de 17 provplatserna. Slumpmässigt valdes 4 av dem ut som platser där även bulkdensitet skulle provtas. Koordinaterna för varje punkt noterades.

4.2. Provtagning i fält

Materialet som användes i fält var:

- Jordprovtagare
- Spade
- Bulkdensitetsringar, \varnothing 7 cm
- Morakniv
- Provplastpåsar
- Märkpenna
- Högpprecision-GPS
- Mobil och mobilkamera
- Anteckningsbok och penna

Den handhållna högpprecision-GPS:en och de tidigare framtagna koordinaterna användes för att hitta till de 17 provplatserna inom området *Kaserna*. Vid varje provplats skulle ett jordprov från varje synlig horisont tas. Vid 4 av de totalt 17 platserna skulle också bulkdensitet provtas.

Först användes en jordprovtagare som trycktes ned i marken tills berg påträffades. Innan den togs upp vreds den ett varv för att vara säker på att hela jordprofilen följde med. När jordprovtagaren togs upp kunde horisonterna studeras och provtas. Bedömning av gränserna mellan horisonterna gjordes baserat på färg och mängd organiskt material. Minst 10 g, vilket ögonmätades, av varje förekommande och synlig horisont lades sedan ned i separata och tydligt märkta plastpåsar för vidare analys i labb.

På de provplatser där bulkdensitetsprover även skulle tas, användes en spade för att gräva en grop ned till samma djup som jordprovtagaren nådde. En bulkdensitetsring trycktes in horisontellt från sidan tills den var fylld och en lite spade användes sedan för att gräva ut den. Syftet var att störa jorden och dess kompakthet så lite som möjligt för att få ett representativt värde. Där horisonterna var tunnare än 5 cm togs bulkdensiteten på fler än en horisont tillsammans. Bulkdensitetsringen med jord lades sedan ner i en märkt provplastpåse för vidare analys i labb.

Totalt togs 42 prover varav 36 var vanliga jordprover och 6 var prover för bulkdensitet.

4.3. Laborationsanalyser och beräkningar

Material som användes:

- Bägare
- Papperspåsar
- Ugn
- Våg
- Kross
- Tennkapslar
- Pincett
- Isotope Ratio Mass Spectrometry (IRMS)
- Porslinsdegel

Från varje prov togs ett subprov på ca 10-20 g och lades i en papperspåse. Provet tillsammans med påsen vägdes med tre decimalers noggrannhet. Samtliga prover ställdes sedan in i en ugn på 50 °C och lät torkas i 4 dygn (eller tills de var helt torra).

4.3.1. Kol och kväve

Av proverna som inte var i bulkdensitetsringar överfördes 1,5-2 ml till plaströr som sedan placerades i en kross där de maldes ned till ett fint pulver. Av detta placerades sedan ca 5 mg av den organogena jorden (O-horisonten) och ca 40 mg av mineraljorden (E- och B-horisonten) i små tennkapslar med hjälp av en liten sked. Två replikat av varje prov togs för att öka chanserna för korrekta och representativa värden. Med hjälp av pincett stängdes kapslarna och rullades till små bollar som sedan kunde vägas. Därefter placerades dem i en Isotope Ratio Mass Spectrometry som genererade ett procentuellt värde för mängden kol och kväve i provet. Efter var tionde prov kördes två standardprover som kallades Sediment High Organic Matter, vilket hade ett tidigare känt värde för mängden kol och kväve. Detta repeterades tills samtliga 36*2 prover, utöver standardproverna, hade körts.

Resultaten från körningen i IRMS:en kom i en procentuell andel kol och kväve av vikten på tennkapslarna som placerades i maskinen. Procentandelen tillsammans med värdena från analysen av bulkdensiteten kunde sedan användas för att beräkna mängden kol och kväve per volymenhet och/eller ytenhet. Genom att multiplicera varje procentuellt värde för kol och kväve med det korresponderade värdet för bulkdensitet i samma horisont, beräknades mängden kol och kväve i g/cm^3 . Sedan kunde detta värde multipliceras med djupet för varje individuell horisont på varje provplats, vilket gav resultatet i g/cm^2 . Genom att sedan multiplicera det med 10 blev värdet i kg/m^2 , vilket multiplicerat med 10 000 blev kg/ha . Resultatet kunde på så sätt ges i kg kol eller kväve per kvadratmeter eller hektar.

Kol-till-kväve ration beräknades genom att dividera mängden kol med kväve. Ration organiskt material-till-kol beräknades genom att dividera mängden organiskt material med mängden kol.

4.3.2. Organiskt material

En porslinsdegel vägdes och till denna överfördes sedan ca 5 g av det malda provet. Porslinsdegeln tillsammans med jordprovet vägdes och sedan placerades det i en ugn med en temperatur av 550 °C i

ca 8 timmar. Syftet var att bränna bort det organiska materialet. Efter detta vägdes porslinsdegeln med jordprovet återigen och mängden organiskt material kunde räknas ut med hjälp av följande formel:

$$\text{Organiskt material (\%)} = \frac{\text{massa}_{\text{jord+degel}} - \text{massa}_{\text{bränd jord+degel}}}{\text{massa}_{\text{jord+degel}} - \text{massa}_{\text{degel}}}$$

Mängden organiskt material i kg/m² beräknades på samma sätt som mängden kol och kväve, beskrivet ovan under rubrik 4.3.1.

Detta upprepades för samtliga 36 prover.

4.3.3. Bulkdensitet

De torkade jordproverna från bulkdensitetsringarna vägdes och eftersom ringarna hade en känd volym (~192 cm²) kunde bulkdensiteten hos jordproverna räknas ut enligt följande formel:

$$\text{Bulkdensitet (g/cm}^3\text{)} = \frac{\text{massa}_{\text{torr}}}{\text{volym}}$$

Ett medelvärde för varje enskild horisont kunde sedan beräknas.

Detta upprepades för samtliga 6 prover.

4.3.4 Gravimetrisk vattenhalt

Efter första torkning i ugn på 50 °C vägdes jordproverna återigen. Denna vikt noterades och användes för att beräkna vatteninnehållet i provet enligt följande formel:

$$\text{Gravimetrisk vatteninnehåll (\%)} = \frac{\text{massa}_{\text{blöt}} - \text{massa}_{\text{torr}}}{\text{massa}_{\text{blöt}}} * 100$$

Detta upprepades för samtliga 36 prover.

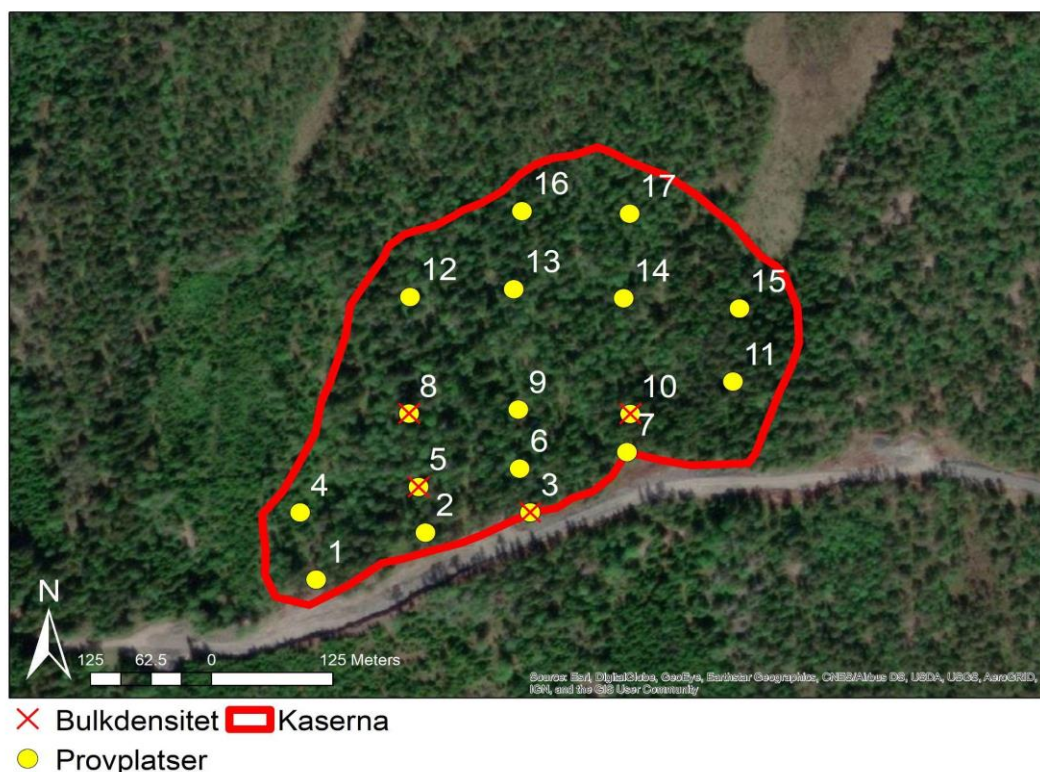
Lämpliga grafer över samtliga resultat kunde sedan sammanställas i Excel.

5. Resultat

5.1 Djup och horisonter

Jordprover togs på samtliga 17 provplatser och prover för bulkdensitet togs på provplats 3, 5, 8 och 10 (Figur 2).

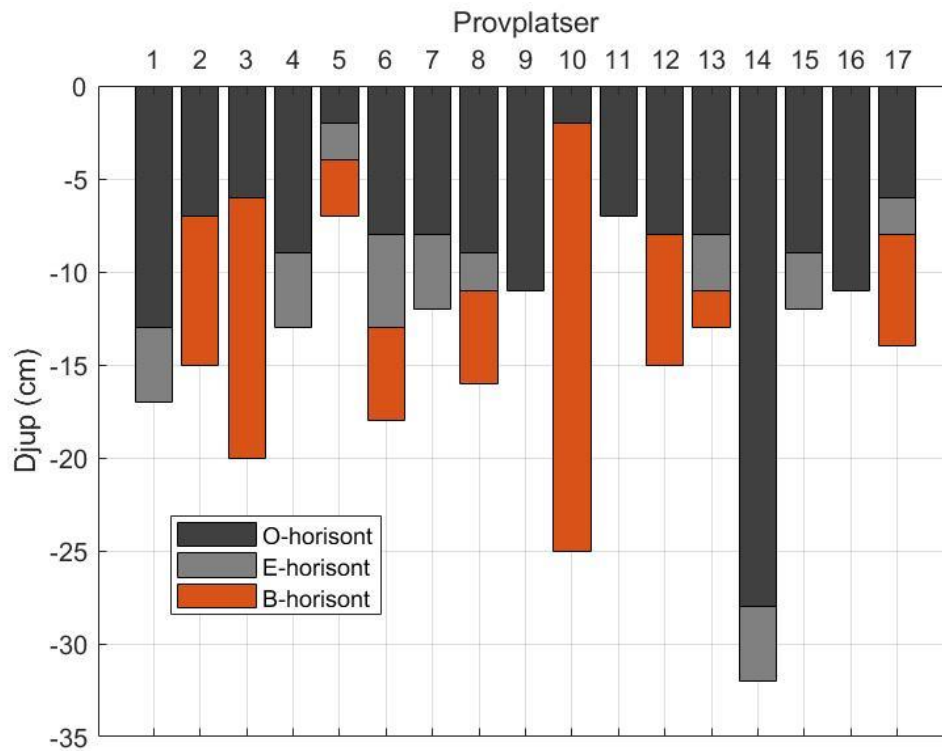
Den totala arean på området Kaserna var 44760.61 m², vilket motsvarar 4,48 ha.



Figur 2. Karta som visar utsträckningen av området Kaserna där proverna togs. De 17 provpunkterna är markerade med gula cirklar varav 4 har röda kryss över som indikerar att prover för bulkdensitet dessutom skulle togs vid dessa platser.

Djupet på provplatserna varierade mellan 7 cm på plats 5 och 11, och 32 cm på plats 14 (Figur 3). Medeldjupet låg på ca 15,2 cm med en standardavvikelse på 6,2 cm.

Samtliga 17 provplatser hade en synlig och tydlig O-horisont, 10 platser hade en E-horisont, 9 platser hade en B-horisont och 5 platser hade alla tre horisonter (Figur 4 & 5). Mäktigheten på O-horisonten varierade mellan 28 cm och 2 cm, medelvärdet var 8,94 cm med en standardavvikelse på 5,66 cm. Mäktigheten på E-horisonten varierade mellan 5 cm och 2 cm, medelvärdet var 3,3 cm med en standardavvikelse på 1,06 cm. Mäktigheten på B-horisonten varierade mellan 23 cm och 2 cm, medelvärdet var 8,11 cm med en standardavvikelse på 6,57.



Figur 3. Stapeldiagram över samtliga 17 provplatser där de synliga horisonterna och totala djupen är inkluderade. Samtliga platser hade en O-horisont men endast 10 platser hade en E-horisont och 9 platser hade en B-horisont.



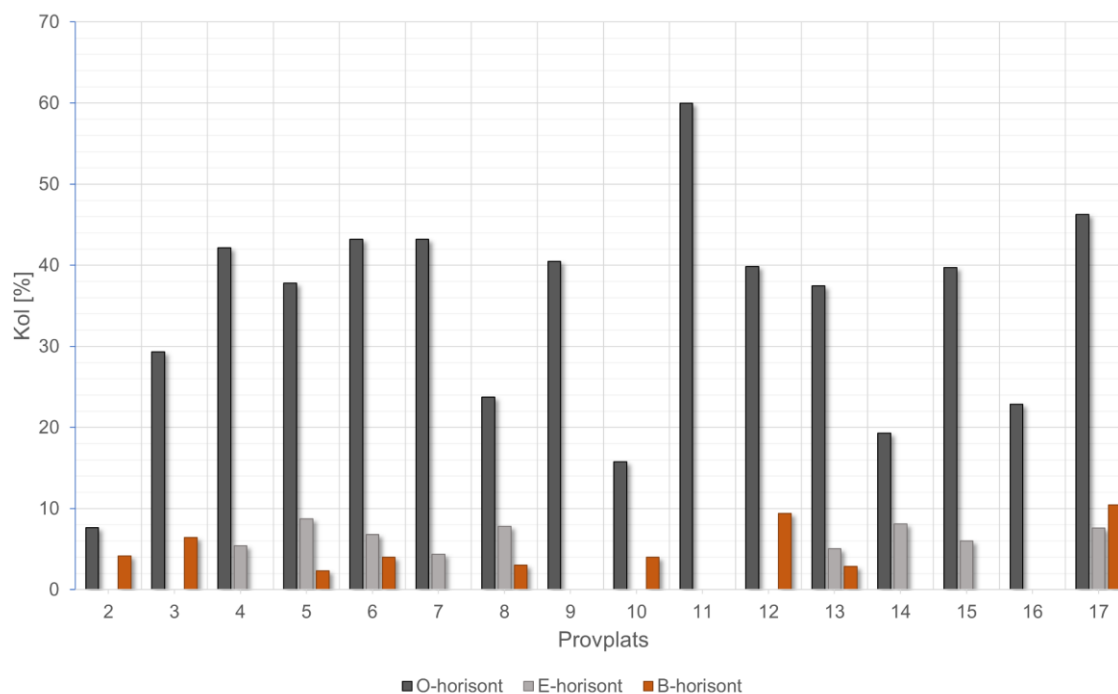
Figur 4. Jordprovtagare med jord från provplats 3. Horisont O och B är synliga.



Figur 5. Jordprovtagare med jord från provplats 17. Horisont O, E och B är synliga.

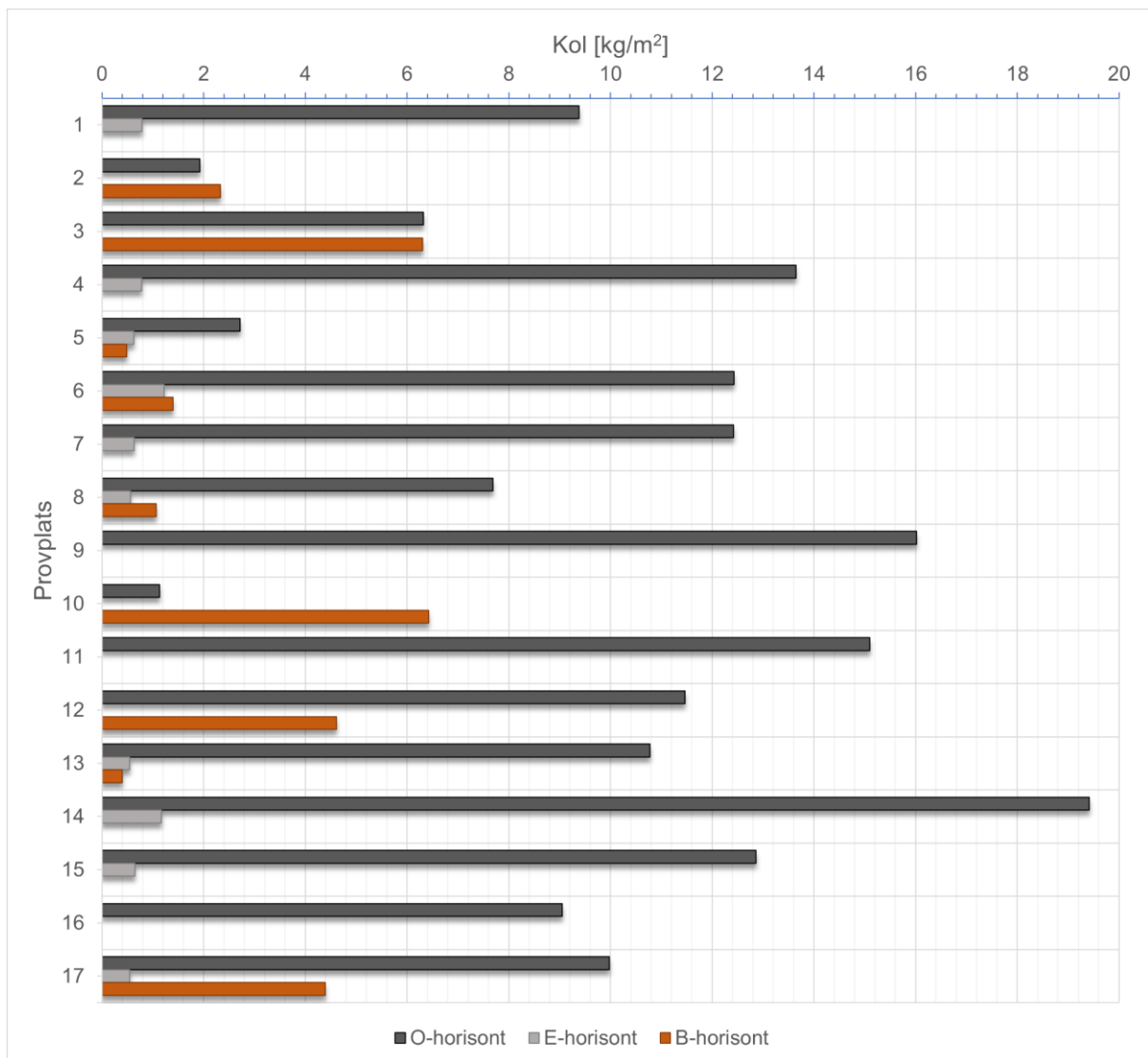
5.2. Kol

Medelvärden av massprocenten kol från de två replikaten på varje provplats och synlig horisont beräknades och presenteras i Figur 6. På samtliga provplatser var andelen kol som högst i O-horisonten där medelvärdet var 33,47%. I E-horisonten var medelvärdet 6,54% och i B-horisonten var det 5,19%.



Figur 6. Massprocent kol på samtliga 17 provplatser och synliga horisonter.

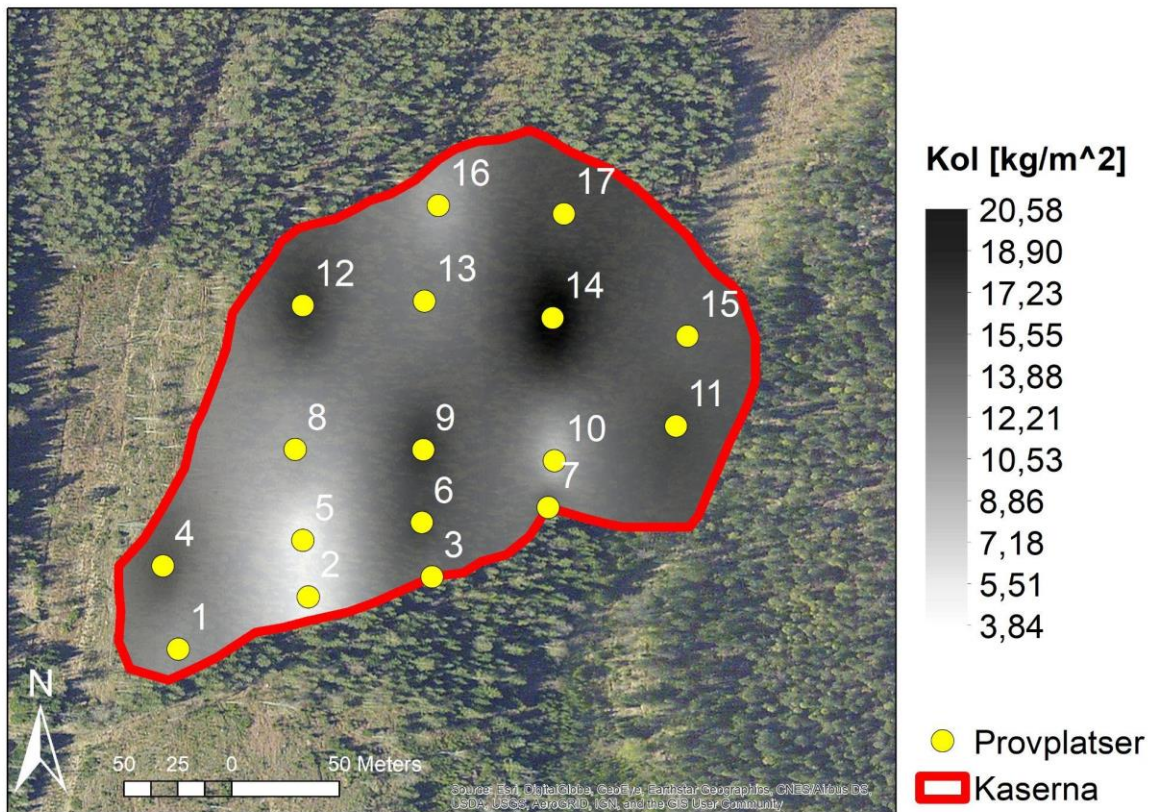
Baserat på värdena för bulkdensitet i de individuella horisonterna samt djupet för varje horisont på varje provplats, kunde mängden kol beräknas i kg/m^2 . I O-horisonten varierade mängden kol mellan $1,13 \text{ kg/m}^2$ och $19,41 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $10,14 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $5,02 \text{ kg/m}^2$ (Figur 7). I E-horisonten varierade mängden kol mellan $0,54 \text{ kg/m}^2$ och $1,22 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $0,75 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $0,25 \text{ kg/m}^2$. I B-horisonten varierade mängden kol mellan $0,40 \text{ kg/m}^2$ och $6,42 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $3,05 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $2,42 \text{ kg/m}^2$.



Figur 7. Mängden kol angivet i kg/m^2 i varje horisont på samtliga 17 provplatser. Notera att samtliga platser har ett värde för O-horisonten men alla har inte värden för E- och B-horisonten.

Den summerade mängden kol för varje provplats, uttryckt i m^2 , varierade mellan $3,83 \text{ kg/m}^2$ och $20,58 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $12,19 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $4,39 \text{ kg/m}^2$. Störst mängd fanns vid provplats 14, 12, 9, 11 och 6 och minst mängd vid provplats 5, 2, 10 och 16 (Figur 8).

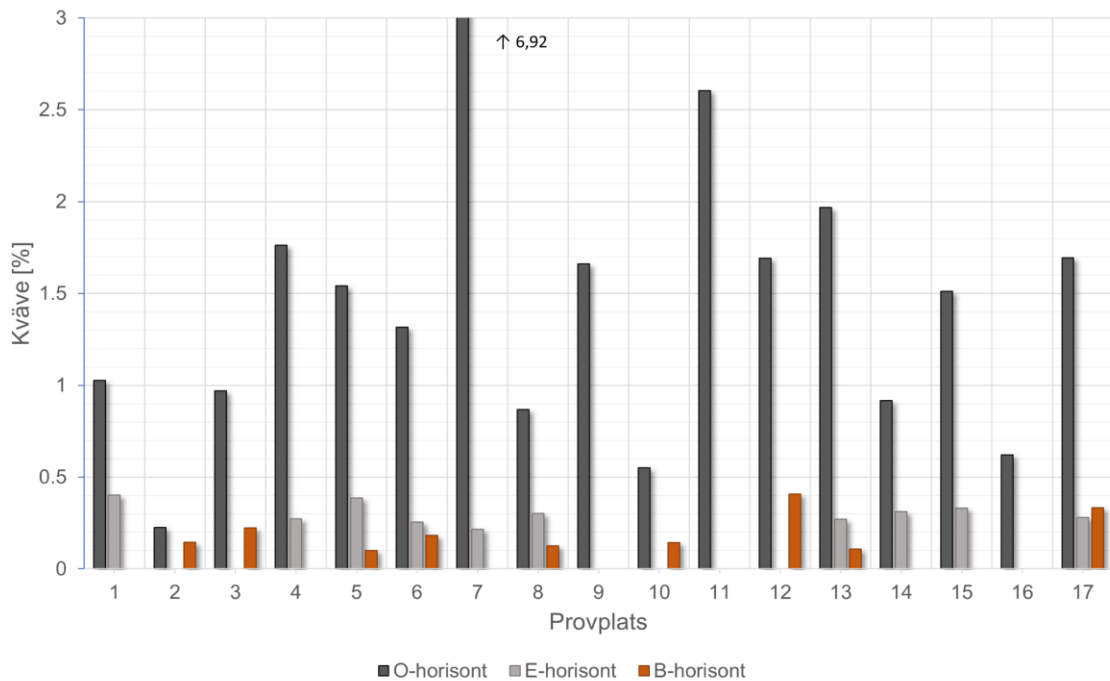
Det totala medelvärdet för samtliga provplatser och djup/horisonter är $5,76 \text{ kg/m}^2$, vilket motsvarar ca $57\,600 \text{ kg}$ kol per hektar. Multipliserat med den totala ytan på Kaserna blir det sammanlagt ca $257\,820 \text{ kg}$ kol i hela området.



Figur 8. Karta över området Kaserna med samtliga provplatser som visar den summerade, interpolerade mängden kol från samtliga horisonter i kg/m².

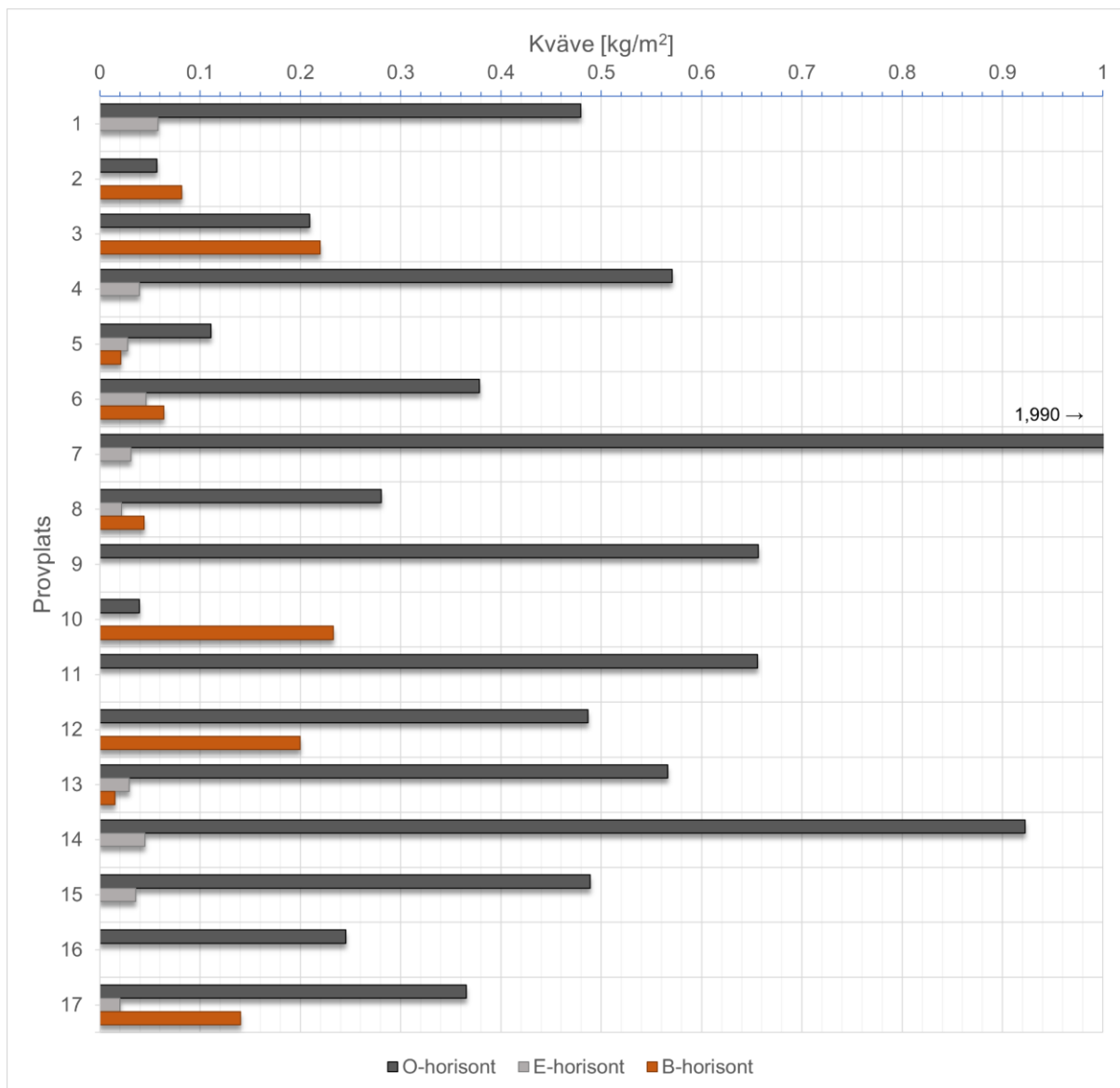
5.3. Kväve

Medelvärdet av massprocenten kväve från de två replikaten på varje provplats och synlig horisont beräknades och presenteras i Figur 9. På samtliga provplatser var andelen kväve som högst i O-horisonten där medelvärdet var 1,64%. I E-horisonten var medelvärdet 0,30% och i B-horisonten var det 0,20%.



Figur 9. Massprocent kväve på samtliga 17 provplatser och alla synliga horisonter. Notera att andelen kväve i O-horizonten vid provplats 7 överskrider y-axelns gränser och har ett värde på 6,92%.

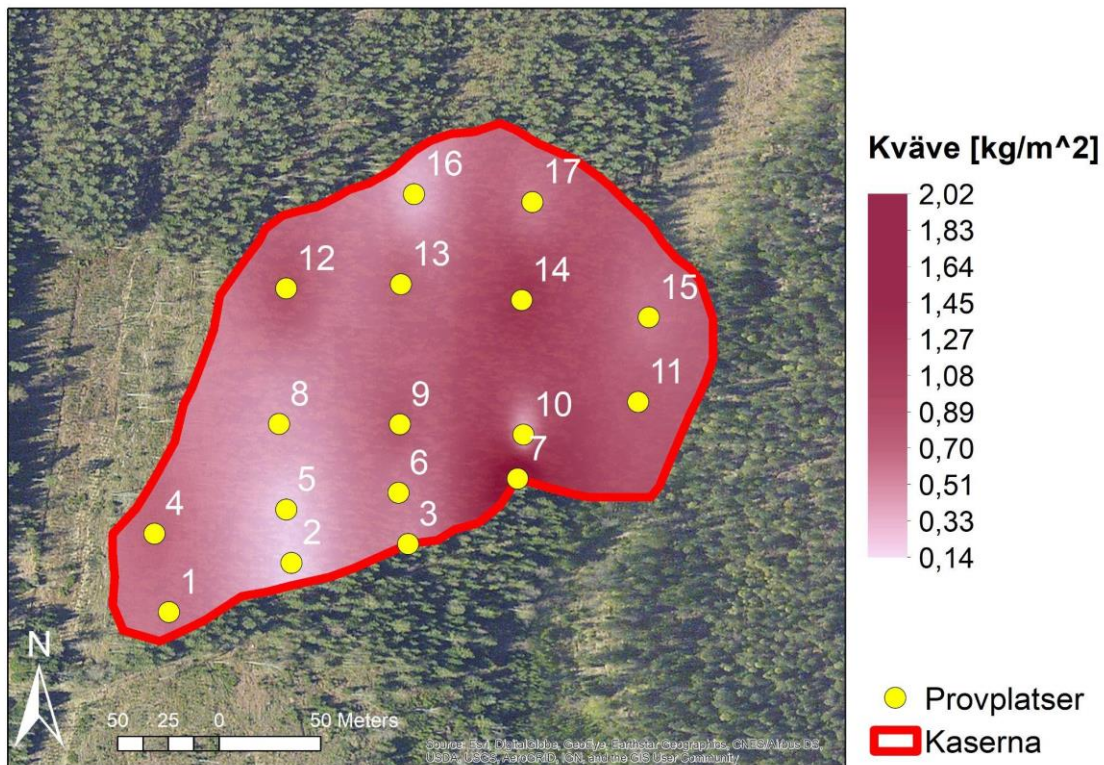
Mängden kväve i kg/m^2 beräknades med samma metod som för kol. I O-horizonten varierade mängden kväve mellan $0,04 \text{ kg/m}^2$ och $1,99 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $0,50 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $0,45 \text{ kg/m}^2$ (Figur 10). I E-horizonten varierade mängden kväve mellan $0,02 \text{ kg/m}^2$ och $0,06 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $0,04 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $0,01 \text{ kg/m}^2$. I B-horizonten varierade mängden kväve mellan $0,02 \text{ kg/m}^2$ och $0,23 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $0,11 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $0,09 \text{ kg/m}^2$.



Figur 10. Mängden kol angivet i kg/m^2 i varje horisont på samtliga 17 provplatser. Notera att samtliga platser har ett värde för O-horisonten men endast ett fåtal har värden för även E- och B-horisonten. Notera även att värdet i O-horisonten på provplats nr 7 överskrider gränserna på grafen och har ett värde på $1,833 \text{ kg/m}^2$.

Den summerade mängden kväve för varje provplats, uttryckt i kg/m^2 , varierade mellan $0,14 \text{ kg/m}^2$ och $2,02 \text{ kg/m}^2$ med ett medelvärde på $0,58 \text{ kg/m}^2$ och en standardavvikelse på $0,43 \text{ kg/m}^2$. Störst mängd fanns vid provplats 7, 12, 9, 11 och 4 och minst mängd vid provplats 2, 5, 16 och 10 (Figur 11).

Det totala medelvärdet för samtliga provplatser och djup/horisont är $0,27 \text{ kg/m}^2$, vilket motsvarar ca 2700 kg kväve per hektar. Multiplicerat med den totala ytan av Kaserna blir det sammanlagt $12\,085 \text{ kg}$ kväve i hela området.

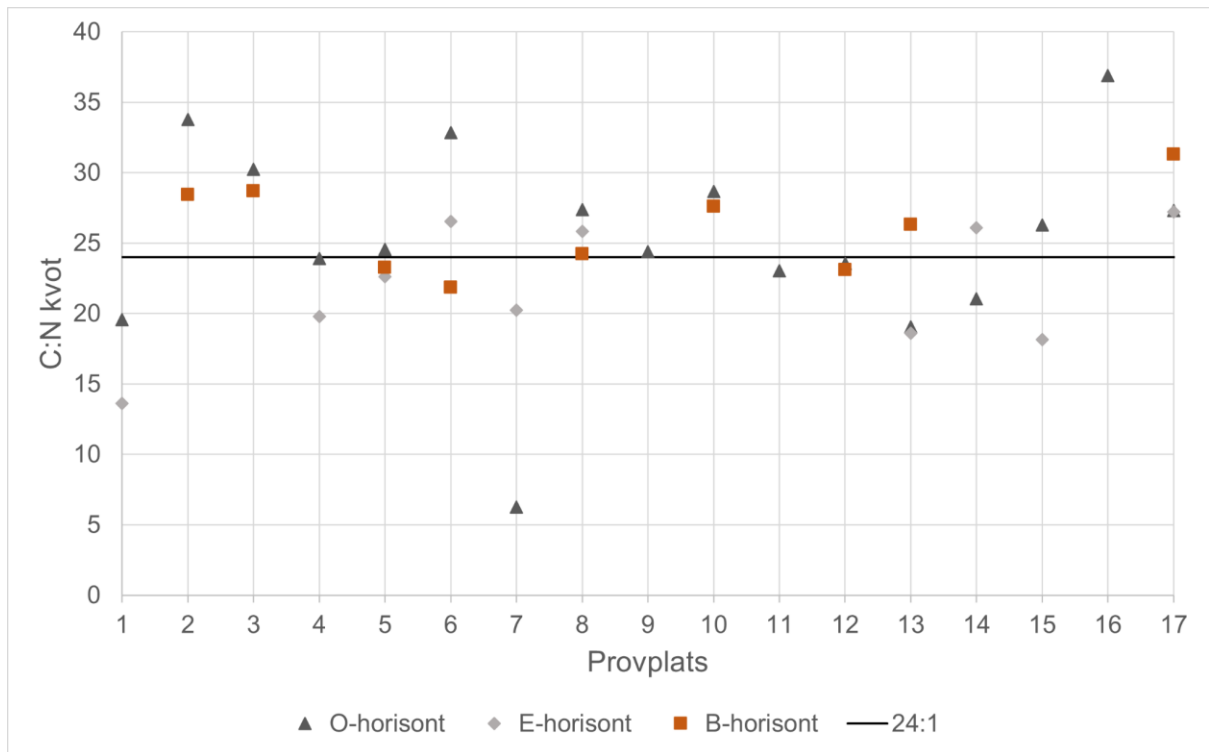


Figur 11. Karta över området Kaserna med samtliga provplatser som visar den summerade, interpolerade mängden kväve från samtliga horisonter i kg/m².

5.4 C:N-kvot

C:N-kvoten för O-horisonten varierade mellan 6,24:1 och 36,88:1 med ett medelvärde på 25,22:1 och en standardavvikelse på 6,95:1 (Figur 12). C:N-kvoten i E-horisonten varierade mellan 13,63:1 och 27,22:1 med ett medelvärde på 21,87:1 och en standardavvikelse på 4,52:1. C:N-kvoten i B-horisonten varierade mellan 21,84:1 och 31,29:1 med ett medelvärde på 26,09:1 och en standardavvikelse på 3,17:1.

C:N-kvoten för den summerade kol- och kvävemängden över alla horisonter varierade mellan 6,24:1 och 36,88:1 med ett medelvärde på 25,22:1 och en standardavvikelse på 6,95:1.

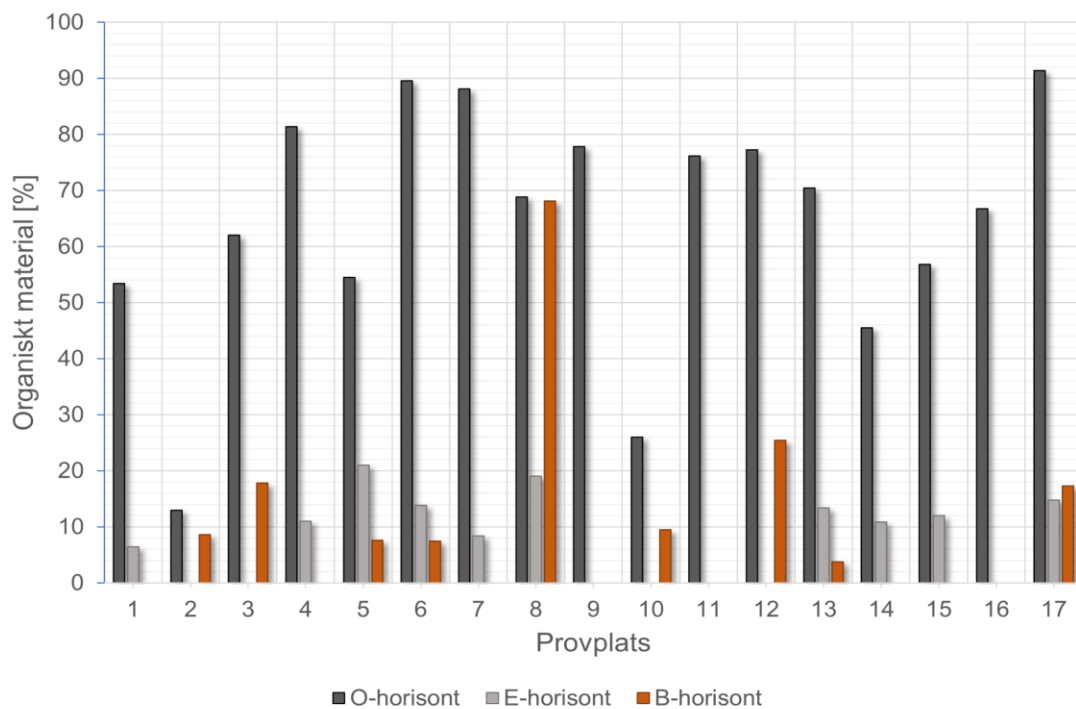


Figur 12. Scatterplot över kol-till-kväve kvoten på samtliga horisonter och provplatser. En referenslinje har inkluderats som har värde 24:1 vilket estimerats till den optimala kvoten för mikroberna i jorden (källa).

5.5. Organiskt material

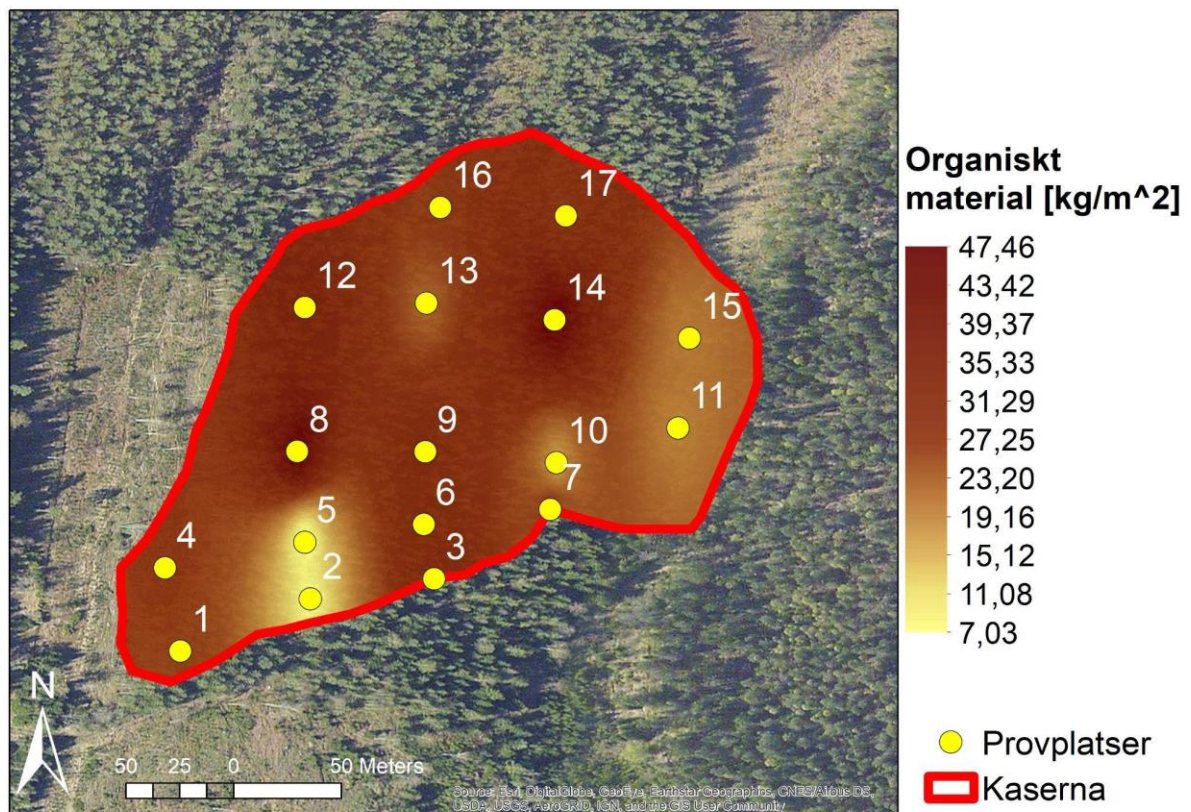
Den största mängden organiskt material var i O-horisonterna, näst störst i B-horisonterna och minst i E-horisonterna. På samtliga platser och horisonter varierade den procentuella andelen organiskt material i jorden mellan ca 2% och 91% (Figur 13).

I O-horisonterna varierade mängden mellan 13,0% och 91,4% med ett medelvärde på 64,6% och en standardavvikelse på 21,7%. I E-horisonterna varierade mängden mellan 6,5% och 21,0% med ett medelvärde på 13,1% och en standardavvikelse på 4,5%. I B-horisonterna varierade mängden mellan 68,1% och 3,8% med ett medelvärde på 18,4% och en standardavvikelse på 19,8%. Störst mängd återfanns vid provplats 17, 5 och 4 i O-horisonterna, vid 17, 8 och 5 i E-horisonterna och vid 8, 12, 17 och 3 i B-horisonterna.



Figur 13. Stapeldiagram över den procentuella mängden organiskt material i de befintliga horisonterna på samtliga 17 provplatser. Notera att det är avsevärt högre halter i O-horisonten relativt E- och B-horisonten.

Den summerade mängden organiskt material i kg/m^2 från samtliga horisonter på alla provplatser illustreras i Figur 14. Värdet varierade mellan $7,02 \text{ kg}/\text{m}^2$ och $47,47 \text{ kg}/\text{m}^2$ med ett medelvärde på $26,48 \text{ kg}/\text{m}^2$ och en standardavvikelse på $10,98 \text{ kg}/\text{m}^2$.



Figur 14. Karta över området Kaserna med samtliga provplatser som visar den summerade, interpolerade mängden organiskt material från samtliga horisonter i kg/m².

I O-horisonten utgjorde kolet i medelvärde 52% av det organiska materialet. I E-horisonten utgjorde kolet 53% och i B-horisonten 43%.

5.6. Bulkdensitet

Bulkdensiteten varierade mellan 0,22 g/cm³ och 0,78 g/cm³ med ett medelvärde på 0,53 g/cm³ och en standardavvikelse på 0,24 g/cm³ (Tabell 1). Bulkdensiteten i B-horisonterna verkade generellt vara högre än i O och E.

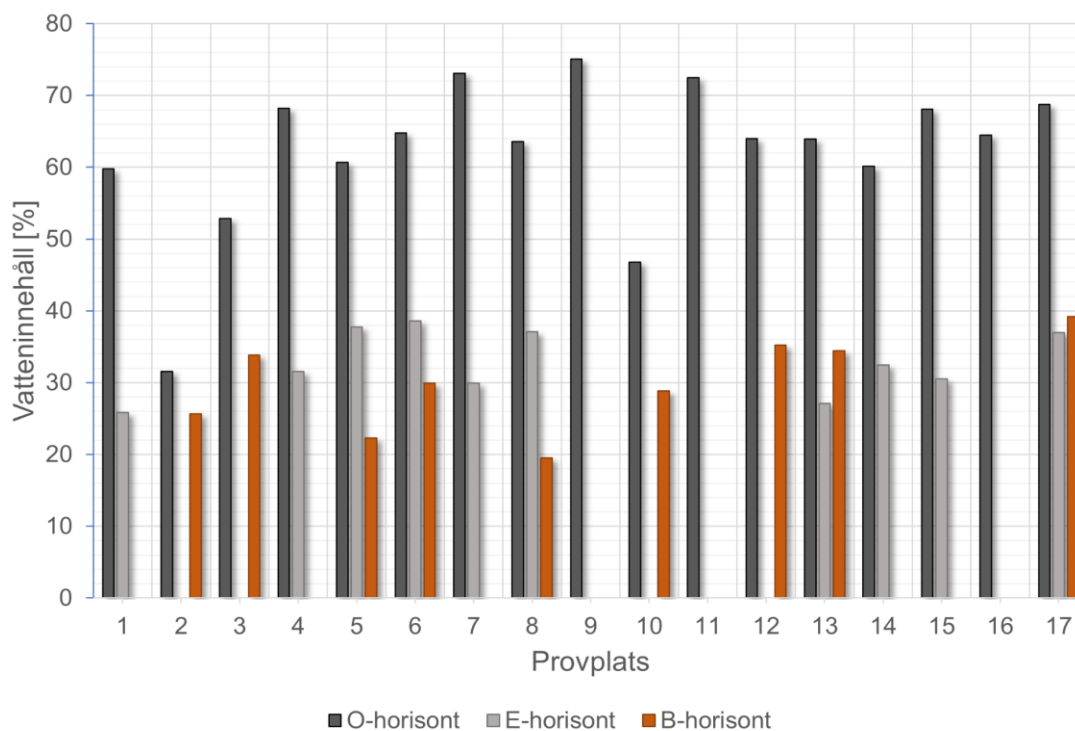
Medelvärdet för bulkdensiteten i O- och E-horisonten var 0,36 g/cm³ och medelvärdet för bulkdensiteten i B-horisonten var 0,70 g/cm³.

Tabell 1. Den beräknade bulkdensiteten för provplatserna 3, 5, 8 och 10 och korresponderade horisont(er).

Provplats	Horisont	Bulkdensitet [g/cm ³]
3	O	0,22
5	O & E	0,63
5	B	0,73
8	O & E	0,23
8	B	0,78
10	O & B	0,60

5.7. Gravimetrisk vattenhalt

Störst mängd vatten återfanns i O-horisonterna, medan E- och B-horisonterna hade relativt lika mängd (Figur 15). Vid provplats 17, 12, 9, 4 och 11 var vatteninnehållet som störst. I O-horisonterna varierade vatteninnehållet mellan ca 31,5% och 75,1% med ett medelvärde på 62,3% och en standardavvikelse på ca 10,6%. I E-horisonterna varierade vatteninnehållet mellan 38,6% och 25,8% med ett medelvärde på 32,8% och en standardavvikelse på 4,6%. I B-horisonterna varierade vatteninnehållet mellan 39,2% och 19,5% med ett medelvärde på 29,9% och en standardavvikelse på 6,5%.



Figur 15. Stapeldiagram över det gravimetriska vatteninnehållet i de befintliga horisonterna på samtliga 17 provplatser. Notera att mängden i O-horisonten relativt E- och B-horisonten är större på alla provplatserna.

5.8. Korrelationsanalyser

Efter att en korrelationsanalys genomförts i Excel, kunde korrelationen mellan variablerna gravimetrisk vattenhalt och massprocent kol I O-horisonten beräknas, där resultatet blev $r=0,79$. Samma korrelationsanalys genomfördes för variablerna gravimetrisk vattenhalt och massprocent kväve där resultatet blev $r=0,53$. För organiskt material och vattenhalt blev resultatet $r=0,86$.

6. Diskussion

6.1. Djup och horisonter

Medeldjupet hos provplatserna var endast 15,2 cm, dock var det en stor variation mellan det minsta djupet på 7 cm och det största på 32 cm. Det verkade inte heller finnas något mönster till variationen, då till exempel provplats 10 hade djupet 7 cm och provplats 11, som inte låg mer än 100 m bort, hade ett djup på 25 cm. Plats 15 som låg norr om plats 11, hade ett djup på 12 cm (Figur 2 & 3). Det kan finnas flera orsaker till att djupet inte var konstant över området, till exempel underliggande, heterogent utspridda block, en varierande berggrund, ojämn topografi, eller kompression av jordlagret. Eftersom koordinaterna för varje provplats hade tagits fram innan provtagningen i fält kunde jordprovet inte tas inom ett område större än ett par meter i diameter för att behålla rätt koordinater. Det vill säga, om det fanns ett lite större block vid en provplats var det ibland svårt att undvika det, vilket kan ha lett till att djupet blev missvisande. Det är även möjligt att själva berggrunden som låg under jordmassan hade en varierande yta. På många ställen fanns det branta lutningar där jordlagret var tunnare och nedsänkningar där det var tjockare. Det fanns också äldre, övervuxna spår av olika fordon som kört genom området. Där det var möjligt undveks dessa platser, dock kan jorden även bredvid dessa spår ha varit komprimerad och därav tunnare än väntat. Ovan nämnda orsaker kan vara förklaringar till varför mäktigheten på podsolen drastiskt varierade över området.

Det var inte bara mäktigheten på hela jordmassan som varierade, utan även mäktigheten hos de individuella horisonterna, samt vilka horisonter som var synliga på de olika provplatserna. På alla 17 platser fanns det en tydlig, mörkbrun till svart O-horisont. På de flesta av platserna varierade mäktigheten på horisonten mellan 6 cm och 12 cm, med ett fåtal undantag där den var anmärkningsvärt tunnare eller tjockare (Figur 3). Eftersom O-horisonten består av organiskt material (Skogsencyklopedin, u.å.) kommer mäktigheten på horisonten variera beroende på mängden organiskt material. Samt att om det totala djupet är mindre, kommer djupet på O-horisonten med största sannolikhet också vara mindre. En blekare, grå-svart E-horisont var synlig endast på 10 av de 17 provplatserna och varierade i mäktighet mellan 2 cm och 5 cm, vilket var avsevärt mindre än O-horisonten. På många platser var det svårt att urskilja var gränsen mellan O- och E-horisont gick, eller att över huvud taget avgöra om det fanns en E-horisont eller inte. Den bildas genom vittring (Skogsencyklopedin, u.å.), och avsaknaden av horisonten på så många platser kan vara på grund av att skogen och jordmånen är relativt ung och den urlakade blekjorden inte har hunnit utvecklas till större grad. När den dessutom är relativt tunn kan den också vara svårare att urskilja, kanske aktivitet från rötter och jordlevande organismer har gjort att gränserna till närliggande lager har blivit mindre tydliga. Ett varmare, fuktigare klimat och en äldre skog hade möjligtvis lett till en mer utvecklad och tydlig E-horisont. B-horisonten som befinner sig direkt under E-horisonten, var synlig endast på 9 provplatser. Dock var den i jämförelse med blekjorden mycket lättare att urskilja och på många platser

större i mäktighet. Den var anmärkningsvärt rostorange i färgen, vilket leder till hypotesen att jordmånen i området, eller i alla fall vid de provplatserna som hade en B-horisont, var av typen järnpodsol (Skogsencyklopedin, u.å.). Samtidigt fanns det ett flertal provplatser med ett djup som underskred eller precis överskred 10 cm, vilket för resonemanget om typ av jordmån mot litosol i stället för podsol vid just dessa platser. Plats 5 och 11 hade båda ett djup på 7 cm, och specifikt plats 11 hade inga utvecklade horisonter bortsett från O-horisonten.

6.2. Kol & kväve

Andelen kol uttryckt i massprocent var som störst i O-horisonten med ett medelvärde på 33,47 % (Figur 6). Andelen var betydligt lägre i E- och B-horisonten med medelvärden på 6,54% respektive 5,19 %. Att kolet fanns i högst koncentration i O-horisonten är inte orimligt eftersom det även finns störst mängd organiskt material där, dock var den spatiala variationen markant med ett lägsta värde på 7,66 % och högsta på 59,98 %. Det är inte heller orimligt att E-horisonten skulle innehålla mer än B-horisonten eftersom kolmängden generellt minskar med djupet. Den spatiala variationen i O-horisonten kan bland annat bero på områdets topografi eller variation i växtlighet. Ingen data eller närmare observationer samlades in över den specifika växtligheten vid varje provplats, vilket gör det svårt att avgöra om den spelade någon roll i variationen av mängden kol. Jämfört med värdena från Markinfo (2021) för en vanlig svensk skog stämde halten kol i O-horisonten i Kaserna överens med halterna i mårlager som låg på 35–40 %. Med hjälp av värden för bulkdensitet i varje horisont och djupet på varje horisont kunde även den totala mängden kol i kg/m^2 beräknas. Störst mängd återfanns fortfarande i O-horisonten, men näst störst mängd beräknades i stället vara i B-horisonten (Figur 7). Detta kan bero på att B-horisonterna var generellt större i mäktighet än vad E-horisonterna var, vilket gav ett högre summerat värde. Den totala kolmängden, det vill säga mängden i samtliga horisonter summerade, var i medelvärde $12,19 \text{ kg/m}^2$ där majoriteten av kolet kommer från O-horisonten.

För att sätta de summerade värdena i en lämplig kontext kan en jämförelse med studien publicerad av N. H. Batjes (2014) göras, där data över globala jordprofiler samlades in och värden för kol, kväve och bulkdensitet i olika jordmåner sammanställdes. I en podsol var mängden kol i de översta 30 cm beräknat till $13,6 \text{ kg/m}^2$ vilket är en aning högre än det summerade värdet för kol i Kaserna, som i medelvärde var $12,19 \text{ kg/m}^2$. Dock var det estimerade värdet för en järnpodsol $17,6 \text{ kg/m}^2$, vilket är betydligt högre. Eftersom inga andra analyser gjordes när det kommer till typen av podsol, utöver observationer i fält, är det möjligt att hypotesen att jorden i området var en järnpodsol, är felaktig. Å andra sidan är värdena för bulkdensitet som användes för att beräkna kol- och kvävemängden betydligt lägre än de estimerade bulkdensitetsvärdena i studien av Batjes (2014) samt att det totala djupet sällan nådde 30 cm. Detta innebär att den resulterande kol- och kvävemängden som beräknades kan vara mindre än vad den verkliga mängden är. Det kan också finnas andra faktorer, utöver missvisande bulkdensitetsvärden, som påverkar kolmängden.

Som tidigare nämnt kan även klimat vara en bidragande faktor till mängden kol i jorden (Jóbbagy), men eftersom Kaserna inte var större än 4,5 hektar bör det inte finnas någon skillnad i klimat inom området. Topografi kan påverka både djup och fuktighet i jorden. De platser med högst kolinnehåll i O-horisonten var även några av de platser med högst vatteninnehåll. Provplatserna 4, 6, 7, 9, 11, 15 och 17 hade både störst mängd kol och störst mängd vatten (Figur 6 & 15), och efter en korrelationsanalys mellan massprocenten vatten och kol i O-horisonten på samtliga provplatser blev korrelationskoefficienten $r=0,79$. Mängden kväve påverkas inte på samma sätt av jordfuktighet som kol gör, utan en större mängd vatten kan i stället leda till urlakning av kvävet (USDA, u.å.). Dock är

det uppenbart i Figur 9 att även värdena för kväve var en aning högre vid samma provplatser vars värden för kol var höga, men efter samma korrelationsanalys mellan kväve och vattenhalt blev resultatet endast $r=0,53$. Det vill säga, att endast förklara mängden kväve med hjälp av mängden vatten är inte tillräckligt.

Generellt var mängden kväve betydligt lägre än mängden kol på samma plats och horisont, dock var detta inte förvånande eftersom jorden inte bör innehålla lika mycket kväve som kol. Medelvärdet för kvävet i O-horisonten var 1,64 %, i E-horisonten var det lägre med ett medelvärde på 0,30 % och i B-horisonten ännu lite lägre på 0,20 % (Figur 9). Jämfört med värden från Markinfo (2020) på 1,08–1,18 % är halten i O-horisonten en aning högre medan den i E- och B-horisonten är en aning lägre. Anledningen till att den är högre i O-horisonten är förmodligen på grund av att halten vid provplats 7 är nämnvärt högre än vid de andra provplatserna. Detta gör att medelvärdet blir betydligt högre.

Likt kol minskar även kvävet med djupet, och även när vi tittar på den summerade mängden kväve i varje horisont följer det samma mönster som för kolmängden. O-horisonten har störst halt, medan B-horisonten har lite högre än E-horisonten vilket är en konsekvens av att B-horisonten var betydligt tjockare på de flesta provplatserna. I jämförelse med Batjes (2014) värden där kvävemängden i de översta 30 cm i en podsol var beräknat till $0,81 \text{ kg/m}^2$, var medelvärdet av den summerade kvävemängden i Kaserna, $0,51 \text{ kg/m}^2$, markant lägre. Återigen kan detta bero på skillnaden i bulkdensitet mellan de erhållna värdena i fält och Batjes värden. Faktorer som varierande topografi, hög porositet och mycket nederbörd kan ha påverkat mängden kväve negativt (USDA, u.å.), dock gjordes ingen ingående analys över dessa parametrar vilket gör det svårt att dra någon slutsats. Eftersom kväve också tillkommer till jorden genom att manuellt tillföra gödsel och växtnäring (USDA, u.å.) kan områdets historia spela en stor roll, där specifikt markanvändning och ålder på området kan ha påverkat mängden kväve som idag finns tillgängligt.

Något att lägga märke till är som sagt mängden kväve i O-horisonten vid provplats 7 som är markant större jämfört med andra horisonter och platser. Detta leder även till att C:N-kvoten för O-horisonten förändras. Orsakerna till att just detta jordprov innehöll så mycket mer kväve kan vara många och är svåra att fastställa. Eftersom två replikat av varje prov analyserades i IRMS:en, och båda fick lika högt värde, går det sannolikt att utesluta att det är där felet ligger. Det är möjligt att något misstag gjordes under andra delar av laborationsanalyserna, men en annan anledning är att det faktiskt var en förhöjd kvävehalt vid provplats 7 i O-horisonten. Inga andra värden var anmärkningsvärt höga vid den provplatsen.

6.2.1. C:N-kvot

Kol-till-kväve-kvoten indikerar hur många enheter kol det finns i förhållande till kväve, och det optimala förhållandet för de jordlevande mikroberna har estimerats till 24:1 (USDA, 2011). Medelvärdet för kvoten i O-horisonten var 25,22:1, i E-horisonten var det 21,87:1 och i B-horisonten 26,09:1 (Figur 12). Samtliga värden var relativt nära den optimala C:N-kvoten, vilket tyder på en förhållandevis gynnsam miljö för mikroberna som leder till att de kan omvandla och producera näringsämnen som växter och andra organismer använder för tillväxt. Enligt Markinfo (2020) är brukar kol/kväve-kvoten ligga runt 20:1 i svenska skogar, vilket innebär att den var en aning högre vid Kaserna. Anledningen till att den var lite lägre i E-horisonten kan vara för att kolhalten minskar i större grad än vad kvävet gör i denna horisont. C:N-kvoten för de summerade värdena hade medelvärdet 25,22:1, vilket också ligger nära den optimala kvoten på 24:1.

6.3. Organiskt material

Andelen organiskt material i jorden var som störst i O-horisonten där medelvärdet var 64,6%, betydligt mindre i B-horisonten där medelvärdet var 18,4% och minst i E-horisonten där medelvärdet var 13,1% (Figur 13). Återigen är det rimligt att den största andelen finns i O-horisonten eftersom den nästan enbart består av organiskt material, speciellt på vissa provplatser där andelen till och med uppgick till 91%. I B-horisonten var variationen och standardavvikelsen anmärkningsvärt stora vilket främst beror på att det vid provplats 8 skedde en markant ökning i andelen organiskt material i jämförelse med övriga provplatser. Genom observation i fält var det möjligt att se att B-horisonten vid provplats 8 inte är lika orangebrun eller tydlig som vid andra provplatser, detta kan innebära att jord från O-horisonten hade blandats med B-horisonten vilket också skulle förklara den högre andelen organiskt material.

Med hjälp av bulkdensiteten kunde den summerade mängden organiskt material i kg/m^2 beräknas över hela området (Figur 14). Minst mängd återfanns vid provplatserna 2, 5, 10, 11 och 15, som alla befinner sig i syd-sydvästra delen av Kaserna. Dessa resultat kan möjligtvis förklaras med hjälp av topografin i området då det generellt lutade norrut, det vill säga bort från detta område med lägre värden. Det kan leda till en minskad vattenmängd lokalt, vilket i sin tur påverkade mängden organiskt material negativt. Efter en korrelationsanalys genomfördes i Excel blev korrelationskoefficienten $r=0,89$ vilket innebär att mängd organiskt material och mängd vatten med största sannolikhet påverkar varandra. Därför är det sannolikt att orsaken till de lägre halterna organiskt material i sydvästra området av Kaserna beror på att det inte kan ansamlas lika mycket vatten där på grund av topografin. Å andra sidan är det möjligt att det är vattnet som påverkas av mängden organiskt material i stället. Eftersom bulkdensiteten var relativt låg i det organiska lagret innebär det att det finns mycket porutrymme för vattnet att ansamlas i.

Av det organiska materialet utgjorde kolet 52% i O-horisonten, 53% i E-horisonten och 43% i B-horisonten, vilket inte är långt från det estimerade värdet på 58% (Pluske & Murphy, u.å.). Anledningen till den avsevärt höga andelen kol i E-horisonten är att vid provplats 1 och 14 var mängden organiskt material i förhållande till kolet mycket lägre än vid övriga platser, vars andel kol varierade mellan ca 37% och 50%, och detta ledde till resultat som låg på 85% respektive 75%. Dessutom var gränserna för E-horisonten som tidigare nämnt inte särskilt tydliga, speciellt den som var angränsande till O-horisonten, vilket kan ha lett till att både mer kol och mer organiskt material än menat följde med i jordproverna för E-horisonten.

6.4. Bulkdensitet

I jämförelse med estimerade värden för bulkdensiteten hos en podsol, var värdena vi erhöll från proverna som togs i fält vid Kaserna, betydligt lägre. I Batjes (2014) studie varierade värdena för bulkdensitet mellan $0,52 \text{ Mg/m}^3$ och $2,16 \text{ Mg/m}^3$ med ett medelvärde på $1,32 \text{ Mg/m}^3$ (vilket korresponderar till samma värde fast i g/cm^3). Värdena från Kaserna varierade mellan $0,22 \text{ g/cm}^3$ och $0,77 \text{ g/cm}^3$ med ett medelvärde på $0,53 \text{ g/cm}^3$, det vill säga precis i underkant av spannet beräknat av Batjes (2014) (Tabell 1). Medelvärdet är dock beräknat för samtliga prover över alla horisonter, men det var tydligt både i fält och i senare beräkningar att bulkdensiteten varierade markant beroende på vilken horisont provet togs från. I O-horisonten var det tätt av rötter som gjorde det betydligt svårare att trycka in bulkdensitetsringen hela vägen, och det var generellt svårt att avgöra när ringen var full. Det är mycket troligt att de värdena vi erhöll är lägre än den verkliga bulkdensiteten i området.

Däremot är det inte ovanligt att en jord väldigt rik på organiskt material har en relativt låg bulkdensitet, vilket dessutom kan vara tecken på en ökad rörlighet och framkomlighet för rötter.

6.5. Felkällor

Det finns ett antal felkällor som uppstod under processen av att genomföra detta arbete, som troligen påverkade de slutgiltiga resultaten. Som alltid måste den mänskliga faktorn tas hänsyn till, speciellt eftersom arbete innehåller många olika steg där prover vägdes och vikten antecknades för hand och värden sedan flyttades mellan dokument. Det är möjligt att misstag gjordes och värden skrevs ner felaktigt eller blandades ihop. En annan felkälla är faktumet att inte varje provplats hade en O, E- och B-horisont vilket innebär att det inte togs totalt 17 prover från varje horisont, som det var tänkt och beräknat från början. Ett för litet stickprov kan resultera i ett missvisande antagande för hela området.

Felkällor som uppstod i fält innefattar bland annat estimeringen av mäktigheten på jordmånen som kan vara missvisande på grund av underliggande block eller tjocka rötter, och det gravimetriska vatteninnehållet som i alla fall i O-horisonten kan ha påverkats av hur vädret var dagarna innan provtagningen och därav gett ett missvisande resultat och även bulkdensiteten som var svår att provta på grund av rötter som var i vägen. Eftersom det dessutom var mycket grundare än väntat gick det inte heller att ta lika många prover som önskat, både vanliga jordprover och prover för bulkdensitet, vilket innebär att urvalet kanske inte är tillräckligt representativt för hela området.

7. Slutsats

Sammanfattningsvis kan ett antal slutsatser dras från resultaten av detta arbete. Generellt hade jordmånen i området Kaserna en relativt liten mäktighet som dessutom varierade markant spatialt. I förhållande till värdena från Markinfo som berörde svenska skogar var värdena för kol och kväve i massprocent från Kaserna jämförbara och inte utöver det normala. Mängden kol och kväve var i förhållande till värdena framtagna av Batjes (2014) betydligt lägre men eftersom beräkningarna baserades på värdena för bulkdensiteten som också var betydligt lägre än Batjes värden, är det möjligt att kol- och kvävehalten i verkligheten var högre än vad dessa resultat visar. De var dessutom baserade på djupet av varje horisont som varierade anmärkningsvärt mellan provplatserna. En parameter som verkar ha varit en stor bidragande faktor till den spatiala variationen i kol- och kvävehalten, samt mängden organiskt material, är den gravimetriska vattenhalten, vilket i sin tur påverkades av topografin. Kol-till-kväve-kvoten låg relativt nära det optimala värdet på 24:1 i samtliga horisonter och provplatser, vilket skulle tyda på en gynnsam miljö för de jordlevande mikroberna.

Resultaten från detta arbete kan användas för att få en uppfattning om kol- och kvävebudgeten i området Kaserna, men användaren bör vara medveten om att dessa halter förmodligen är en aning lägre än vad de är i verkligheten. Framtida studier av liknande karaktär är rekommenderade för att ytterligare styrka eller motbevisa resultaten från detta arbete.

Tack

Detta har varit ett otroligt givande och intressant arbete att genomföra och jag har samlat på mig väldigt viktiga och meriterande kunskaper under vägen. Jag vill tacka min handledare Tobias Rütting för all ovärderlig hjälp och guidning, Louise Rütting och Josefina Carlberg för handledning genom laborationsanalyserna och kursledare Mark Johnson vars support och stöttning gjort det möjligt att

slutföra detta arbete. Jag vill självklart också tacka min kurskamrat Elsa Nilsson som jag har genomfört hela arbetet med. Det har varit otroligt skönt och hjälpsamt att inte bara göra allt praktiskt tillsammans, utan även bolla idéer under analys- och skrivprocessen. Sist men inte minst vill jag också tacka examinator Leif Klemetsson, samt familj, vänner och klasskamrater som läst igenom mitt arbete och gett användbar och hjälpsam feedback.

Referenser

Batjes, N. H. (2014). "Total carbon and nitrogen in the soils of the world." *European Journal of Soil Science* 65(1): 10-21.

Brandt, M. J., m.fl. (2017). Chapter 3 - Hydrology and Surface Supplies. *Twort's Water Supply (Seventh Edition)*. M. J. Brandt, K. M. Johnson, A. J. Elphinston and D. D. Ratnayaka. Boston, Butterworth-Heinemann: 65-116.

Brock, O., m.fl. (2020). "Effects of development stage on organic matter transformation in Podzols." *Geoderma* 378: 114625.

Brown, K. & Wherret, A. (u.å.) *Bulk density - measurement*. The University of Western Australia & Department of Agriculture and Food, Western Australia. <https://soilquality.org.au/factsheets/bulk-density-measurement>

Carter & Gregorich - *Soil Sampling Methods* (2007) av Pennock, D., Yates, T. och Braidek, J

Chenu, C., m.fl. (2015). Chapter 13 - Methods for Studying Soil Organic Matter: Nature, Dynamics, Spatial Accessibility, and Interactions with Minerals. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (Fourth Edition)*. E. A. Paul. Boston, Academic Press: 383-419.

Cools, N. & B. De Vos (2013). Chapter 15 - Forest Soil: Characterization, Sampling, Physical, and Chemical Analyses. *Developments in Environmental Science*. M. Ferretti and R. Fischer, Elsevier. 12: 267-300.

Hatten, J. & G. Liles (2019). Chapter 15 - A 'healthy' balance – The role of physical and chemical properties in maintaining forest soil function in a changing world. *Developments in Soil Science*. M. Busse, C. P. Giardina, D. M. Morris och D. S. Page-Dumroese, Elsevier. 36: 373-396.

Horwath, W. (2007). 12 - CARBON CYCLING AND FORMATION OF SOIL ORGANIC MATTER. *Soil Microbiology, Ecology and Biochemistry (Third Edition)*. E. A. Paul. San Diego, Academic Press: 303-339.

Jobbágy, E. G. & R. B. Jackson (2000). "THE VERTICAL DISTRIBUTION OF SOIL ORGANIC CARBON AND ITS RELATION TO CLIMATE AND VEGETATION." *Ecological Applications* 10(2): 423-436.

Khan Academy. (u.å.). *The nitrogen cycle*. Hämtad 29/4 från <https://www.khanacademy.org/science/biology/ecology/biogeochemical-cycles/a/the-nitrogen-cycle>

Lynch, J., m.fl. (2012). Chapter 13 - Effect of Internal and External Factors on Root Growth and Development. Marschner's Mineral Nutrition of Higher Plants (Third Edition). P. Marschner. San Diego, Academic Press: 331-346.

Markinfo. (2021, 8 november). *Kolhalt*. <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/markinfo/markkemi/kolhalt/>

Markinfo. (2020, 26 maj). *Kol/Kväve-kvot*. <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/markinfo/markkemi/kolkvave-kvot/>

Markinfo. (2020, 20 maj). *Kvävehalt*. <https://www.slu.se/institutioner/mark-miljo/miljoanalys/markinfo/markkemi/kvavehalt/>

Marshak, S. (2015). *EARTH Portrait of a Planet* (5 uppl.). W.W. Norton & Company, Inc.

Matocha, C. J. (2005). OXIDATION–REDUCTION OF CONTAMINANTS. *Encyclopedia of Soils in the Environment*. D. Hillel. Oxford, Elsevier: 133-140.

Pluske, W. & Murphy, D. (u.å.) *Total Organic Carbon*. Nutrient Management Systems & The University of Western Australia. <https://www.soilquality.org.au/factsheets/organic-carbon>

Skogenscyklopedin. (2000). (u.å.). *Leptosol*. Hämtad 2022-06-06 från <https://www.skogen.se/glossary/leptosol>

Skogenscyklopedin. (2000). (u.å.). *Litosol*. Hämtad 2022-06-06 från <https://www.skogen.se/glossary/lithosol-litosol>

Skogenscyklopedin. (2000). (u.å.). *Podsol*. Hämtad 2022-04-19 från <https://www.skogen.se/glossary/podsol>

Soane, B. D. (1990). "The role of organic matter in soil compactibility: A review of some practical aspects." *Soil and Tillage Research* 16(1): 179-201.

Soil Science of America. (u.å.) *Soil Basics*. Hämtad 26/4 från <https://www.soils.org/about-soils/basics/>

Spaargaren, O. (2008). *Podzols*. I *Encyclopedia of Soil Science* (s. 580-581). Springer.

Sveriges Geologiska Undersökning. (u.å.) *Kartvisaren (Berggrund 1:50000 - 1:250000)*. Hämtad 2022-06-06 från <https://apps.sgu.se/kartvisare/kartvisare-berg-50-250-tusen.html>

University of New Hampshire. (2009). *An introduction to the global carbon cycle*. <http://globecarboncycle.unh.edu/CarbonCycleBackground.pdf>

USDA, NRCA. (2011). *Carbon to Nitrogen Ratios in Cropping Systems*. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcseprd331820.pdf

USDA, NRCA. (u.å.). *Soil Nitrogen*.

https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_053274.pdf

Voroney, P. (2019). Chapter 4 - Soils for Horse Pasture Management. *Horse Pasture Management*. P. Sharpe, Academic Press: 65-79.

Elliot, W.J., Page-Dumroese, D., Robichaud, P.R. (1999). "The effects of forest management on erosion and soil productivity." *Proceedings of the Symposium on Soil Quality and Erosion Interaction*: 16.