

Fukthaltens påverkan på strålningsvärden på bergmaterial

En fältstudie

Linnéa Johansson, Amanda Nejman, Malin Norin, Emma Rehnström och Lars Stenlid,
Skanska Sverige AB
Skanska

2025-03-05

SKANSKA

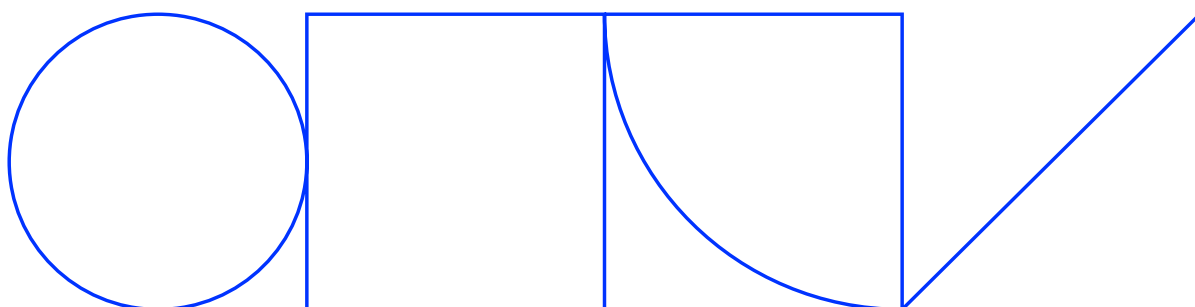
NCC

 Strål
säkerhets
myndigheten
Swedish Radiation Safety Authority

REJLERS

SWEROCK

**RI
SE**
Research Institutes
of Sweden



Förord

Projekt 14313 "Strålningsvärdets påverkan av bergmaterialets fukthalt" har genomförts av arbetsgruppen, bestående av representanter från Skanska Sverige AB, med stöd av referensgruppen och finansiärer.

Arbetsgruppen vill framför allt tacka projektets finansiärer och särskilt Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond (SBUF), som gett arbetsgruppen möjlighet att ta sig an projektets uppgift.

Arbetsgruppen vill också tacka projektets referensgrupp för värdefulla diskussioner och bidrag inom projektgruppen.

Projektets arbetsgrupp:

Projektledare Malin Norin, Skanska Teknik
Amanda Nejman, Skanska Teknik
Linnéa Johansson, Skanska Teknik
Emma Rehnström, Skanska Teknik
Lars Stenlid, Skanska Teknik

Projektets referensgrupp:

Cecilia Jelinek, Strålsäkerhetsmyndigheten
Magnus Döse, RISE. Vid projektstart Swerock
Emma Lindberg, NCC
Erik Andren, NCC
Cynthia Andersson, Skanska
Eva Samuelsson, Rejlers Sverige AB

Finansiärer:

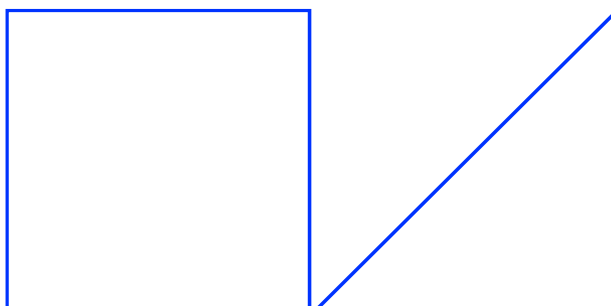
SBUF
Skanska Sverige AB / Teknik
NCC
Swerock
Strålsäkerhetsmyndigheten

Göteborg, 2025-03-05

Linnéa Johansson
Skanska Sverige AB

Amanda Nejman

Malin Norin



Sammanfattning och slutsatser

I projektet har undersökningar av strålningsnivåer i fält och laboriemiljö utförts med syfte att studera och kartlägga hur mätresultaten från gammaspektrometer påverkas av bergmaterialets fuktighet.

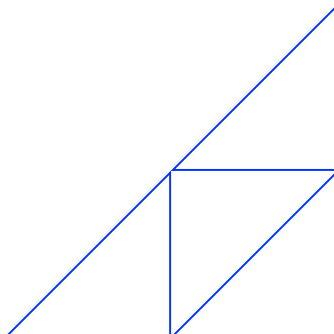
Under projektets gång har det genomförts digitala möten med referensgruppen och däremellan har fältundersökningar utförts på provupplag av utvalda sorteringar av bergmaterialprodukter. Fyra olika sorteringar (0/2–0/4, 0/16, 4/8 och 8/16) testades med tre olika fukthalter. Tre olika bergtäkter med olika berggrund och strålningsnivåer inkluderades i studien. I fält utfördes strålningsmätningarna med handhållen gammaspektrometer och fuktmätningar gjordes med två olika fuktmätare. Prover togs även ut i fält för att testa och jämföra fuktkvoten uppmätt i fält med fuktkvot analyserad på labb enligt SS-EN 1097–5. På laboratorium utfördes analys på material provtaget i fält enligt standard SS 27100:2023 på bergmaterial torkat i ugn. Samma material blöttes sedan ner och analys utfördes på nytt med syfte att se om samma trend påvisades i laboriemiljö som i fältmiljö.

Resultaten i studien visade att skillnaden mellan mätresultaten på torrt och blött bergmaterial – för aktivitetsindex och totalstrålning – faller inom ramen för de naturligt förekommande interna avvikelserna i instrumentet, samt är ej större än den statistiska osäkerheten som uppstår på grund av att radioaktivt sönderfall är en stokastisk process. Resultatet visar på förhöjd halt radium-226 vid mätning på blött bergmaterial och att den största skillnaden uppstår på material med hög strålningshalt.

Rekommendationen blir därför att undvika att mäta på fuktigt material med normala till höga strålningsnivåer, samt på okända bergmaterial. Mätningar bör fortsatt genomföras på så torra material som möjligt. Mätning kan utföras på bergmaterial med låga strålningsvärden oberoende av bergmaterialets fukthalt.

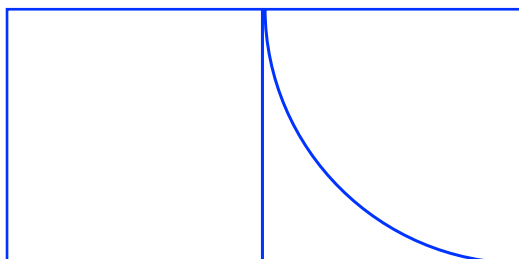
Nederbördens eventuella effekt har ej inkluderats i studien och mätningar är därför fortfarande begränsade av detta. Mätningar bör därför inte utföras under pågående nederbörd eller för tätt efter nederbörd.

Studien har generat data som belyser de fel som kan uppstå vid strålningsmätningar på blött material och detta har genererat nya intressanta frågor.



Innehåll

1	Inledning	4
1.1	Bakgrundsinformation om strålning	5
1.2	Syfte och målsättning	6
2	Genomförande	7
2.1	Litteratur- och datainventering	7
2.2	Val av bergmaterial och ballastsortering	8
2.3	Utrustning	9
2.4	Utförda undersökningar	12
3	Resultat	18
3.1	Fält	18
3.2	Laboratorieprovning enligt SS 27100:2023	30
4	Utvärdering av resultat	32
4.1	Utvärdering av resultat från strålningsmätningar	32
4.2	Jämförelse mellan fältmätningar och labbtester	33
4.3	Felkällor	33
5	Slutsatser	35
5.1	Framtida arbeten	36
6	Referenser	37
	Bilagor	38
	Bilaga 1	38
	Bilaga 2	39
	Bilaga 3	41



1 Inledning

Byggbranschen möter succesivt ökande krav på resurshushållning och att minimera miljö- och hälsorisker förknippat med användningen av olika material. Branschen är därmed på en resa för att ställa om till en optimerad användning av resurser och säkra en hållbar användning av olika material.

Hur branschen använder bergmaterial är viktigt att ta i beaktande eftersom exponering för radioaktiv strålning i höga doser utgör en hälsorisk. Därför finns det lagstiftning och utarbetade riktlinjer för hur höga strålningsvärden får vara i mineralbaserade byggnadsmaterial. I denna lagstiftning framgår att producenter skall uppfylla EU:s Byggproduktförordning nr 305/2011 samt den svenska strålskyddslagen (2018:396).

Utifrån strålskyddsförordningen 2018:506 (Kap 3 7§) framgår att referensnivån för extern exponering för gammastrålning från byggnadsmaterial är 1 millisievert effektiv dos per år (mSv/år) för personer som vistas i en byggnad. Exponeringsdosen översätts så att den slutgiltiga betongprodukten bör understiga aktivitetsindex 1. Det innebär att ballast med ett aktivitetsindex över 1 kan användas i betong, men betongtillverkare föredrar att använda ballastmaterial med aktivitetsindex under eller omkring 1. Aktivitetsindex beräknas utifrån uppmätt gammastrålning från uran-238, torium-232 och kalium-40. I de fall där aktivitetsindex överstiger 1 för ballastprodukter ska användningen av materialet begränsas så att referensnivån inte överskrids (Strålskyddslag, 2018). Idag implementeras krav på radonhalter och gammastrålning i olika miljöcertifieringar, vilket är ett sätt att jobba framåt för en bättre strålmiljö.

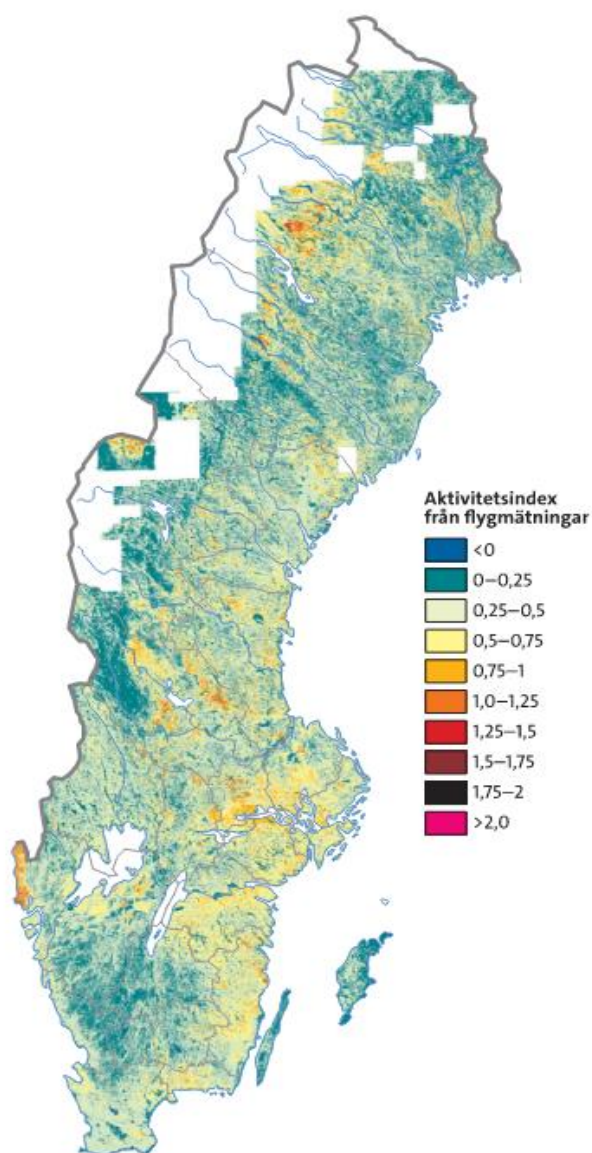
Strålsäkerhetsmyndigheten har uppskattat att radon i inomhusluft orsakar cirka 500 lungcancerfall per år i Sverige (Strålsäkerhetsmyndigheten 2024). För att begränsa hälsoriskerna med joniserande gammastrålning och radongas är det viktigt att känna till markförhållandena och bergmaterialens innehåll av radioaktiva ämnen. Med god kunskap om ballastmaterialens innehåll av radionuklider kan bergmaterialproduktionen i täkter och ute på entreprenad styras så att potentiella risker med för höga strålningsvärden hanteras korrekt. På så vis kan branschen bidra till att uppfylla riksdagens miljömål *God bebyggd miljö* och *Säker strålmiljö* (Sveriges Miljömål, 2023-03-31).

För att kunna uppnå branschens mål om hållbar materialanvändning samt riksdagens miljömål, däribland miljömålet *Säker strålmiljö*, är det viktigt med löpande kontroll av bergmateriallets kvalitetsparametrar. Det är också av vikt att de analyser som utförs är tillförlitliga. Mätning av strålning begränsas i dagsläget av vädret då det finns empiriskt stöd för att mätresultaten varierar som en funktion av vädret, där man främst materialets fuktighet avses. Det är dock inte fastställt vilka mätparametrar som påverkas av fukthalten eller i vilken omfattning. Det finns exempel i mätrapporter där vädret noteras som en osäkerhetsfaktor när mätningen genomförts i våta förhållanden, utan att osäkerheten är kvantifierad eller förklarad (Geosigma, 2021-12-23).

Inom ramen för föreliggande projekt har det undersökts om det finns ett samband mellan de strålningsvärden som uppmäts i fält och fukthalten på ballastmaterialet som analyseras. Projektets effektmål var att utesluta materialets fukthalt som en felkälla för mätningar i fält, vilket öppnar upp för fler mättillfällen under årets lopp, då vädret som osäkerhetsfaktor kan minimeras.

1.1 Bakgrundsinformation om strålning

Berggrund och jordlager innehåller naturligt förekommande radioaktiva ämnen i varierande halt beroende på bland annat mineralogi och geologiskt bildningssätt. Strålningen uppkommer genom sönderfall av naturligt förekommande radioaktiva isotoper av grundämnena kalium, uran och torium (Strålsäkerhetsmyndigheten, 2024a). Isotoper är varianter av ett grundämne med olika många neutroner i atomkärnan. Vissa isotoper är instabila, och det är dessa isotoper som sönderfaller. Sönderfallet sker i ett eller flera steg tills dess att en stabil dotterisotop bildas (Naturhistoriska riksmuseet, 2024). Sönderfallet består av både partiklar och strålning.



Figur 1. Aktivitetsindex vid markytan beräknat från SGU:s flygmätningar av gammastrålning 1969–2014.

Det finns joniserande och icke-joniserande strålning. Icke-joniserande strålning är strålning som inte har tillräckligt hög energi för att orsaka jonisering. Denna typ av strålning kommer från till exempel solen, radiovågor och magnetfält från kraftledningar. (Strålsäkerhets myndigheten, 2024b)

Joniserande strålning uppstår i samband med att radioaktiva ämnen sönderfaller och finns i form av alfa-, beta-, gamma- och neutronstrålning. Den joniserande strålningen är så energirik att den kan slå loss elektroner från de atomer den träffar och därmed omvandla dessa till positivt laddade joner. Denna typ av strålning kan skada och döda cellerna i kroppen. I de flesta fallen repareras cellerna och skadan läker, men om strålningen är mycket hög hinner kroppen inte reparera cellerna i tid och kroppens organ kan sluta fungera. Cellerna kan också repareras felaktigt vilket kan leda till tumörbildning. (Strålsäkerhets myndigheten, 2024b)

Radon är en ädelgas som är luktfri, osynlig och radioaktiv. Den vanligaste radonisotopen, radon-222, bildas i sönderfallsskedjan från uran-238. Radon-222 har en halveringstid på 3,8 dagar och sönderfaller i sin tur till s.k. radondöttrar. I processen emitteras en hälsofarlig alfastrålning (SGU, 2024).

Normal bakgrundsstrålning i Sverige ligger omkring 0,1 mikrosievert/ timme ($\mu\text{Sv/h}$). Den varierar dock beroende på berggrunden, vilket innebär att på vissa platser kan den vara högre (t.ex. alunskiffer), och på andra lägre (t.ex. de flesta områden med diabas). Om du befinner dig på en sjö representeras bakgrundsstrålningen enbart av den kosmiska strålningen, dvs inte alls av berggrunden. Aktivitetsindex vid markytan varierar i Sverige (Figur 1).

Uran-238 är den radioaktiva isotop som har längst halveringstid. Detta innebär att aktivitetskoncentrationerna av övriga ämnen i sönderfallsskedjan kommer att kontrolleras av uranets aktivitetskoncentration (Jelinek & Eliasson, 2015, s. 7).

Kalium är det sjunde vanligaste elementet i jordskorpan, varav 0,012% utgörs av isotopen kalium-40. Kalium förekommer naturligt i bergarter som granit och syenit. De vanligaste kaliumhaltiga mineralen är kalifältspat, biotit och muskovit (Jelinek & Eliasson, 2015, s. 12).

Uran och torium förekommer som spårämnen med koncentrationer under 0,1% i berggrunden. Uran och torium passar inte in i vanliga mineral som bygger upp basiska eller intermediära bergarter, utan anrikas i stället oftast i mineraler i den kiselrikare bergarten granit, vilken gärna bildas i ett senare skede i magmautvecklingen (Jelinek & Eliasson, 2015, s. 13). Uran- och toriumisotoper förekommer som väsentliga komponenter i mineralen uraninit, torit och monazit. I andra mineral substituerar de för zirkonium, cerium eller yttrium och uppträder då i stället som spårämne (Jelinek & Eliasson, 2015, s. 14). Ofta förekommer uran och torium i granitiska bergarter i radioaktiva accessoriska mineral. Det är endast en mycket liten andel som förekommer i de bergartsbildande mineralen kvarts, kalifältspat och plagioklas (Bea, 1996).

1.2 Syfte och målsättning

Detta projekt syftar till att undersöka om bergmaterialets fuktighet påverkar vilket resultat som registreras vid mätning av joniserande gammastrålning. Visar det sig att bergmaterialets fuktighet har en obetydlig inverkan på vilka värden gammaspektrometern läser av kan resultaten från denna studie användas som referensstudie för att påvisa att strålningsmätningar kan utföras även på fuktigt alternativt blött material.

2 Genomförande

Genomförandet av projektet har bestått av fem etapper. Referensgruppen har varit inkluderad i projektet via digitala möten genom projektets gång, från uppstart till slutrapportering. Referensgruppens råd och synpunkter har tagits i noga beaktning genom hela projektets framdrift. Etapp ett gick ut på att göra en inventering av redan existerande kunskap inom ämnet samt besluta om vilka täkter och materialsorteringar som skulle inkluderas i projektet. Här valdes även typ av fuktmätare ut för studien. I etapp två och tre utfördes fält- och laboriemätningarna. De sista två etapperna bestod av resultatsammanställning, utvärdering och rapportskrivning. I samband med dessa två etapper lades även fokus på felkällor.

2.1 Litteratur- och datainventering

Inom ramen för projektet gjordes en omfattande inventeringen, som omfattade utgivna rapporter, information från bland annat Strålsäkerhetsmyndigheten, World Health Organization (WHO) och International Atomic Energy Agency (IAEA) samt gällande lagar och direktiv i både Sverige och Europeiska unionen. Fokus lades på att hitta potentiella felkällor relaterade till strålningsmätningarna. Denna kunskap har sedan använts löpande under hela projektets gång, samt redovisas och diskuteras genomgående i hela rapporten.

Olika miljöcertifieringar såsom Miljöbyggnad, Svanen, BREEAM-SE, LEED och WELL undersöktes avseende på hur de arbetar med gammastrålning och radon. De miljöcertifieringar som idag nämner något om detta är BREEAM-SE och Miljöbyggnad. De andra hänvisar till gällande lagar. BREEAM-SE har riktlinjer för både gammastrålning och radongas (BREEAM-SE, 2023), medan Miljöbyggnad 4.0 som gäller sedan 2022 idag bara har riktlinjer för radongas (Miljöbyggnad 4.0, 2022). Den tidigare versionen Miljöbyggnad 3.2 hade riktlinjer för gammastrålning (Miljöbyggnad 3.2, 2022) liknande de BREEAM-SE fortsatt har. Gemensamt för alla nämnda miljöcertifieringar är att alla på ett eller annat sätt påverkas av det bergmaterial som används i byggprocessen (Olin, 2017).

Som förberedelse inför fältundersökningarna sammanställdes geologiska fältdata, mineralogiska analyser och befintliga strålningsvärden och inventerades inför valet av täkter som skulle inkluderas i projektet.

I samband med validering av mätvärden jämfördes tidigare mätningar mot värden uppmätta i projektet, för att göra en rimlighetsbedömning.

2.2 Val av bergmaterial och ballastsortering

Valet av bergmaterial för projektet baserades på flera olika faktorer. Historiska strålningsvärden för en stor mängd bergtäkter studerades i urvalsprocessen. I samband med detta undersöktes även historiska petrografiska rapporter för respektive bergtäkt. Här togs hänsyn till mineralogisk sammansättning och glimmerhalt. Hänsyn behövde också tas till vilka bergkrossprodukter som fanns tillgängliga att mäta på i täkterna för att säkerställa att de föll inom ramen för projektet. SGU:s digitala verktyg *Kartvisaren* användes som ett hjälpmedel i urvalsprocessen. Målet med urvalsprocessen var att täcka in täkter med olika strålningsvärden, men också olika petrografiska egenskaper.

Ballastsorteringar som inkluderades i projektet valdes baserat på deras förmåga att hålla fukt. Här fokuserades på en stor spridning i porvolymen. Sorteringar med hög andel finmaterial kan absorbera en större mängd vatten och då generera en högre fuktkvot på materialet. Efter diskussioner med referensgruppen fastställdes att projektet skulle innefatta sorteringarna 0/2 alternativt 0/4, 4/8, 8/16 och 0/16.

I Tabell 1 nedan, listas täkterna som inkluderades i projektet samt relevanta egenskaper för respektive täkt.

Tabell 1. Beskrivning i text och bild av materialen från de tre analyserade täkterna.

Täkt	Beskrivning	Bild
1	Bergmaterialet i täkten består huvudsakligen av granitisk gnejs, men även granit och diabas förekommer. Glimmerhalten har bestämts till 7 %. Tidigare strålningsmätningar i täkten har visat på ett aktivitetsindex ~1 och en radiumhalt mellan 50 Bq/kg och 80 Bq/kg.	
2	Bergmaterialet i täkten domineras av granit med tydligt röd-pigmenterade alkalifältspater. Glimmer har ej observerats i bergmaterialet, däremot förekommer en underordnad mängd klorit. Tidigare strålningsmätningar i täkten har gett ett aktivitets-index ~2 och radiumhalt på 60 Bq/kg – 100 Bq/kg.	

3	Bergmaterialet i tåkten består av en glimmerrik, granodioritisk gnejs, med underordnad pegmatit. Fri glimmer har bestämts till 37%. Tidigare strålningsmätningar i tåkten har gett ett aktivitetsindex =0,7 och radiumhalt mellan 15 Bq/kg– 45 Bq/kg.	
---	---	--

2.3 Utrustning

Den viktigaste utrustning som användes i fält i projektet var en gammaspektrometer RS-230 och två olika fuktmätare. Dessa är beskrivna mer i detalj nedan, under respektive rubrik. I övrigt användes plastpåsar, märkpenor, tejp, spadar, provskopor, hinkar, 10 liters vattenkannor och anteckningsmaterial.

2.3.1 Gammaspektrometer RS-230 BGO Super Spec

Mätinstrumentet som använts i projektet är en handhållen gammaspektrometer Radiation Solutions RS-230 BGO Super-Spec (Figur 2). Instrumentet kalibrerades senast 5:e maj 2023 i Borlänge av Georadis. Instrumentet mäter i genomsnitt en cirkulär area på 0,9m (tre fot) i förmodat homogent material.

Vid mätning med gammaspektrometer finns ett antal primära felkällor:

- statistiska
- kalibreringsrelaterade
- geometriska
- analystidsrelaterade



Figur 2. Gammaspektrometern som användes i projektet.

För detaljerad beskrivning av felkällor relaterat till mätinstrumentet se manualen för instrumentet (Radiation Solutions Inc, 2015). För att minimera inverkan av felkällor i projektet har mätningar utförts enligt en fast rutin. Inför varje mätning har instrumentet kontrollerats mot en kontrolllyta på laboratorium för att säkerställa att gammaspektrometern är stabil. Inga mätningar påbörjas innan instrumentet har stabiliserats. Varje mätning har gjorts i 300 sekunder. Mätplatserna i upplagen har markerats ut noga så att instrumentet kan placeras på samma ställe vid varje mätning.

2.3.2 Fuktmätare

För att mätvärdena skulle bli så tillförlitliga som möjligt testades ett urval av fuktmätare. Det verkar inte finnas fuktmätare som är specifikt utformad för mätning på bergmaterial så istället testades mätare som verakde kunna tillgodose projektets behov i bästa möjliga mån. Två olika fuktmätare valdes ut (Figur 3) för att kunna jämföra mätvärden och förhoppningsvis uppnå bästa möjliga mätkvalitet.

WILE 27 Vattenhaltsmätare är en fuktmätare med ett mätintervall på 10–70% fuktinnehåll och en mättingsnoggrannhet på $\pm 2\%$. Upplösningen är 0,1%. Mätaren har en sond i rostfritt stål och mätområdet på sonden är 50cm. Den behöver inte kalibreras och mätaren har ett damm- och stänkskyddat plasthölje. Instrumentet har sex olika inställningar som baseras på materialets densitet.

Elma DT-128 fuktmätare är ett instrument för icke-destruktiv mätning av fukt på ytan av ett material. Mät djupet är 20–40mm ner i materialet. Mätaren kalibreras automatisk vid uppstart och upplösning är 0,1%.



Figur 3. Underst i bilden är den röda WILE-mätaren och över den gröna Elma DT-128 fuktmätaren.

2.3.2.1 Kontroll av fuktmätare

En inledande kontroll av fuktmätarna utfördes i laboratorium. Material av sorteringarna 0/5, 4/8, 8/16, 16/22 och 0/32 testades. Minst två olika prover fanns av varje material för att kunna testmäta på olika fukthalter. Fuktmätarna testades på de olika materialen

och tre mätningar utfördes på varje material med respektive mätare. Fuktmätare WILE testades på de sex olika inställningarna som finns för att kunna bedöma vilken inställning som passade bäst för ändamålet (Tabell 2).

Under kontrollen av de två fuktmätarna upptäcktes att Elma DT-128 hade tydliga begränsningar, då mätvärdena från det instrumentet skilde sig väsentligt från både WILE-mätaren och den verkliga fuktkvoten på både 0/5- och 0/32-material. Elma DT-128 testades på två olika sätt, först på löst, opackat material och sedan på tillplattat material. Vid tillplattningen av makadamsorterna stabiliserades värdena från Elma DT-128 och slutsatsen drogs att i fält ska materialet plattas till lätt innan mätning.

Tabell 2. Värden av fuktighetsmätningarna i labb. Redovisat finns de inställningar som gav lägst standardavvikelse. Varje medelvärde är baserat på tre mätningar. Värdena på porluften från WILE-mätaren redovisas som N/A.

		0/5	0/5	0/5	0/5	4/8	4/8	8/16	8/16	16/22	16/22	0/32	0/32
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		0,0	1,1	2,5	10,0	0,1	1,9	0,1	2,6	0,1	1,7	0,6	1,1
ELMA-mätare (kula) Tillplattat material	Medel	21,5	45,2	51,2	64,9	15,0	23,7	16,5	24,8	23,6	29,2	50,3	66,4
	Std	0,83	0,42	2,15	1,11	1,16	2,75	0,90	3,61	2,34	1,32	3,35	2,58
WILE-mätare(pinne) Inställning 2	Medel	13,2	15,0	21,6	23,6	12,2	18,7	11,1	15,4	N/A	N/A	N/A	18,6
	Std	0,45	0,79	0,91	0,57	0,61	0,86	0,05	0,17	N/A	N/A	N/A	0,57
WILE-mätare(pinne) Inställning 5	Medel	15,7	18,9	22,6	25,0	15,1	20,9	13,5	19,7	N/A	N/A	N/A	20,5
	Std	0,51	1,08	0,64	0,92	0,09	0,05	0,24	0,56	N/A	N/A	N/A	0,41

För WILE-mätaren upptäcktes det att mätvärdena blev orimliga och variationen mellan mätningarna blev för stor när materialet var grövre och andelen porvolym högre. Sannolikt registrerade fuktmätaren fukthalten i porluften, snarare än fukthalten i bergmaterialet. Det togs därför ett beslut om att inga mätningar skulle utföras på upplag med för hög porvolym. Inom ramen för projektet innebar detta att WILE-mätaren enbart användes på upplag i sortering 0/2-0/4, 0/16 och 4/8. I Bilaga 1 redovisas alla värden från kontrollen i tabellform.

Fuktkvoten kontrollerades även på laboratorium enligt metod SS-EN 1097-5 på allt material.

Det finns en principiell skillnad mellan resultaten från mätningarna med handhållen fuktmätare och analys av fuktkvoten enligt SS-EN 1097-5 (Tabell 2). Mätningarna utförda i laboratorium enligt standarden redovisas nämligen i viktprocent, medan resultaten från de handhållna instrumenten redovisas som andel av den relativa humiditeten. Det skulle vara intressant att göra jämförande mätningar för att se hur de olika mätvärdena korrelerar med varandra, men detta låg utanför ramen för innevarande projekt. Den förenklade kontrollen av mätarna som gjordes här visade dock tydligt att de kunde fungera som ett bra hjälpmedel för att bedöma materialets fuktighet.

2.4 Utförda undersökningar

2.4.1 Fältundersökningar

Strålningsmätningarna utfördes i fält i de utvalda täkterna med handhållen gammaspektrometer. I varje täkt testades fyra olika sorteringar; 0/4 alt. 0/2, 0/16, 4/8 och 8/16. På bilden nedan (Figur 4) visas upplagsplatsen för provhögarna i täkt 3. För att få minimal påverkan från bakgrundsstrålningen eftersträvades en så öppen yta som möjligt. Rent praktiskt innebar detta något skilda förhållanden i varje täkt.

I täkt 1 (Figur 5) var provplatsen belägen på behörigt avstånd från pallkanter och större upplag. Det upplag som låg i närheten bedömdes dock inte ha påverkat mätresultaten. I täkt 2 var utrymme en bristvara, vilket resulterade i en provplats som inte var optimal ur mätänseende. Provpplatsen var belägen mellan två upplag, varav det ena låg så nära att det kan ha haft viss inverkan på provresultaten. Omgivningen i övrigt var däremot öppen. I täkt 3 fanns de bästa förutsättningarna för mätning (Figur 4) i detta projekt. Här bedömdes inverkan från omgivande faktorer vara obefintlig, då provplatsen var belägen på en stor, öppen och platt yta.

Mätningarna utfördes på krossat ballastmaterial under torrast, möjliga klimatförhållande som gick att uppnå inom tidsramen för projektet. Vädret var soligt och torrt vid mättillfällena i täkt 1 och täkt 3 och i täkt 2 var det uppehåll när mätningarna utfördes, men det hade regnat dagen innan. Första mätningen utfördes på torrt



Figur 4. Platsen för provupplagen i täkt 3. I bilden syns hur de fyra provupplagen placerades och hur miljön runtomkring såg ut. I bakgrunden syns även bil med släp som användes för att köra ut vatten till platsen. Från vänster till höger syns provupplag 8/16, 4/8, 0/16 och till sist 0/4.

material. Andra mätningen på fuktigt material och den tredje och sista mätningen utfördes på vått material. Bedömningen av vad som var torrt, fuktigt och vått gjordes genom en visuell besiktning. Denna visuella bedömning baserades på utförarnas erfarenhet av provning av bland annat fuktkvot enligt SS-EN 1097-5 i bergmaterial på laboratorie, sedan 2017. Fuktmätarna WILE och Elma DT-128 användes i fält som hjälpmedel vid bedömningen.



Figur 5. Bild på upplag 4/8 i täkt 1. I bakgrunden syns en del av ett av täktens upplag. Bakom detta upplag finns enbart skog.

Mätningarna med gammaspektrometer utfördes på provupplag med tillplattad ovanyta (Figur 5). Provupplagen lades upp med hjullastare och plattades till med lastarens skopa efter att upplagens utformning godkänts. Figur 6 beskriver arbetsmetodiken i fält i ett flödesschema och i Figur 7 visas en skiss över ett provupplag där mätpunkterna för strålningsmätningarna är markerade som orange rektanglar. Varje provupplag hade en höjd på 1,2 m -1,5 m och en diameter på ca. tre meter. Mätytorna placerades i mitten av upplagen med minst en meter till upplagets kant, detta för att inte mäta luften utanför. Varje mätpunkt markerades ut för att det skulle vara enkelt att placera gammaspektrometern på exakt samma ställe de gånger det var nödvändigt att flytta på mätaren.

Innan mätningarna med gammaspektrometern påbörjades gjordes fuktmätningar med både WILE- och Elma DT-128-mätaren. Det gjordes tre mätningar med varje inställning, dvs totalt 18 mätningar, med WILE-mätaren och nio punkter med Elma DT-128-mätaren. Alla mätvärden noterades och därefter togs även ett materialprov ut för analys av fuktkvot i laboratorium (se stycke 2.4.1.1 för beskrivning).

Med gammaspektrometern gjordes totalt nio mätningar om 300 sekunder per mätning, fördelade på tre mätningar per mätpunkt per fukthalt och sortering (Figur 7). Mätaren flyttades inte mellan mätningarna på varje mätpunkt, detta för att förutsättningarna skulle förbli de samma vid varje mätpunkt. Syftet med detta var att undersöka den

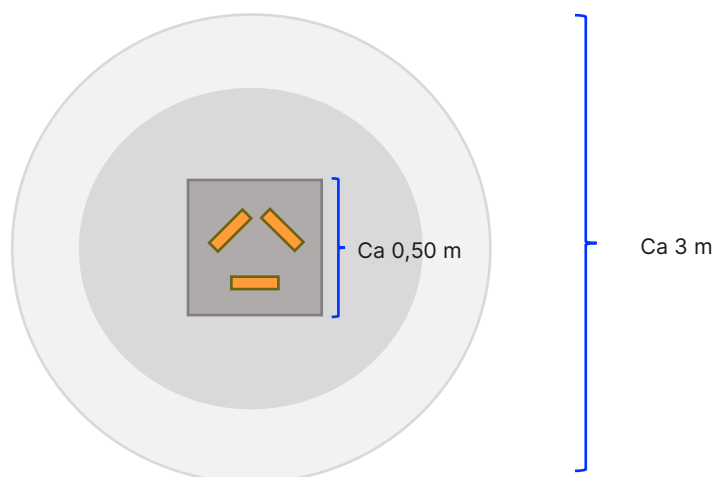
interna variationen och ge ett förhoppningsvis mer tillförlitligt resultat i form av ett medelvärde. Syftet med att ha tre mätpunkter per upplag var att se hur stor variationen var inom upplaget och därigenom få en bild av tillförlitligheten av den data som samlades in.



Figur 6. Schematisk skiss över utförandet i fält.

Efter den första omgången mätningar genomförts blöttes materialet i upplagen. För detta användes 10-liters vattenkannor. Vattenkannorna användes för att få en ungefärlig uppfattning om hur mycket vatten som gick åt. Nästa mätetapp påbörjades först när vattnet hunnit tränga ner genom hela provmaterialet. En visuell bedömning användes för att avgöra om materialet var tillräckligt fuktigt respektive blött. Det togs höjd för att vattnet hade tillräckligt med tid för rinna ner genom provmaterialet ordentligt.

Processen med mätningar upprepades enligt ovan beskriven metodik för respektive upplag och fukthalt (Figur 6).



Figur 7. Skiss över ett provupplag sett ovanifrån. Varje provupplag var ca. 3x3 m, med höjden 1,2-1,5 m. Provytan (ca 50 x 50 cm) är markerad i mitten med mörkgrått, placerad minst 1 m från upplagets kant. Mätpunkterna är markerade orange. Mellangrå är platt yta och ljusgrå slänten av provhögen.

Efter att alla mätningar på provupplagen var färdiga användes en hjullastare för att skopa fram ett tvärsnitt på upplagen. Detta för att få en bild på hur väl vattningen av provmaterialet utfallit och nedan visas en bild över hur detta kunde se ut (Figur 8). Det var väldigt varmt väder när mätningarna gjordes och därför blev materialet snabbt yttorr, vilket syns i bilden, trots det kan man se att materialet var blött.



Figur 8. Genomskärning av upplag 0/16 i täkt 2 efter att mätning på vått material genomförts. Ytan har hunnit bli torr innan genomgrävningen gjordes av lastmaskin.

2.4.1.1 Provtagning av material i fält för test i labb

För att validera data från fuktmätningarna som gjordes i fält togs även prover för att analysera fuktkvoten på materialen i laboratoriemiljö. Dessa prover togs ut på samma material som fuktmätningarna i fält utfördes på. Ungefär ett kilo prov togs ut och packades i plastpåse som förseglades med tejp, allt för att bibehålla samma fuktnivå tills dess att provet kunde analyseras i labb (Figur 9). Denna provtagning genomfördes på materialet när det var torrt, fuktigt respektive blött. Fuktkvoten analyserades i laboratorium enligt SS-EN 1097-5.

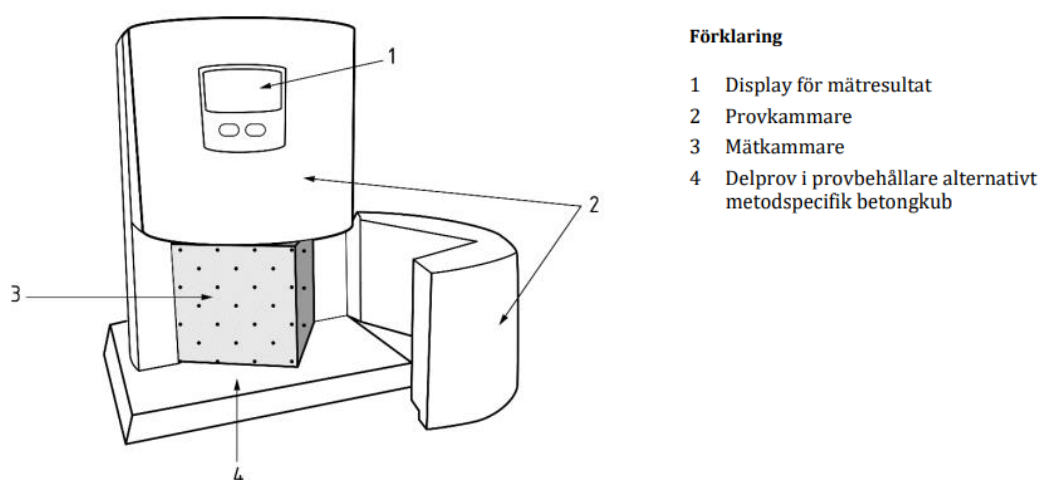


Figur 9. Prover som togs ut i fält lades i täta plastpåsar och förslöts med tejp, samt märktes noggrant.

I fält togs även prover ut för strålningsmätning enligt standard SS 27100:2023. Dessa prover togs från samma plats som gammaspektrometern stått på (Figur 7) efter att alla strålningsmätningar var genomförda på provytorna. Provvikten var ungefär sex-sju kilo. Proverna placerades i förslutna påsar, dock var det inte viktigt att bibehålla fuktkvoten för dessa prover då dessa senare skulle torkas i ugn för att kunna analyseras enligt metoden.

2.4.2 Laborieprovning enligt SS 27100:2023

Våren 2023 togs en ny svensk standard (SS 27100:2023) för bestämning av aktivitetskoncentrationer och aktivitetsindex i mineralbaserade byggprodukter i bruk. Standarden beskriver mätning av gammastrålning på till exempel betong eller bergmaterial i laboriemiljö. För att ytterligare validera mätvärden från fältförsöken gjordes jämförande provning på bergmaterialet i laboriet hos Mark och Miljökontroll i Särö enligt metod SS 27100:2023. Tanken var inte en direkt jämförelse mellan resultaten från fältmätningarna och laboriemätningarna, utan syftet var att se om materialet uppförde sig på liknande sätt i båda miljöerna. Prover för laborieanalysen togs ut på sorteringarna 0/4 och 8/16.



Figur 10. Bild på komplett mätinstrument. Provkammaren är tillverkad av bly vilket eliminerar bakgrundsstrålning.

Analyserna gick till på följande sätt; provet placerades i en plastbehållare med måtten 150 mm x 150 mm x 150 mm. Behållaren bankades lätt mot bänkytan för att kompaktera materialet, detta för att minimera porvolymen och en provvikt på minst fyra kilo uppnås. Det var viktigt att materialet fyllde ut hela volymen i provbehållaren. Provbehållaren placerades i kammaren på gammadetektorn och luckan stängdes (Figur 10). Mättiden för denna metod är 600 sekunder, till skillnad mot 300 sekunder som användes i fält. Mätningar utfördes oackrediterat då det för projektet även genomfördes blöta mätningar, vilket inte är enligt standard. Enligt metod ska två delprover analyseras, men inom ramen för projektet var ett delprov tillräckligt. Laborieanalyserna utfördes på samma tre bergmaterial som analyserades i fält. Först analyserades materialet ugnstorkat och därefter blöttes det ner och analyserades igen enligt samma princip. Sorteringarna som testades var 8/16 och 0/4. På grund av tidsbrist testades enbart 8/16 både torrt och blött, medan 0/4 enbart testades torrt. Resultaten sammanställdes i en Excel-fil hos Mark och miljökontroll i Särö AB och levererades i PDF-format. För mer detaljerad beskrivning av utrustningen och provningsförfarandet (inkl. beräkningar), se standarden.

3 Resultat

Resultat för mätningarna av strålningsvärden och fukthalter från både fält och laboratorieprovning redovisas under respektive underrubrik nedan.

3.1 Fält

Resultaten för mätningarna utförda i fält kommer nedan att redovisas under respektive underrubriker.

3.1.1 Fukthalt

Data från mätningar av fukthalt redovisas i tabellformat uppdelat efter sortering. Det som redovisas från Wile-mätaren är från dem inställningar som visade statistiskt bäst resultat från laborietestet (Avsnitt 2.3.2.1 Kontroll av fuktmätare). I bilaga 2 redovisas alla mätningar ifrån fält.

0/2 och 0/4

Fuktkvoten analyserad enligt SS-EN 1097-5 på laboratorium visar liknande fukthalter täkterna emellan, för både torra och våta provmaterialen. Däremot finns en större variation i värden för de fuktiga materialen mellan täkterna, där täkt 3 har en fuktkvot på 4,2% och täkt 2 har en fuktkvot på 8,0% (tabell 3).

Den interna standardavvikelsen varierar mellan de olika inställningarna på samma täkt och fukthalt, dock har täkt 3 en större variation genom alla inställningar.

Tabell 3. De olika fukthalterna uppmätta i fält samt fuktkvot enligt SS-EN 1097-5 på 0/4 i täkt 1 och 3 samt 0/2 i täkt 2. Medelvärde är baserat på >9 mätningar för Elma mätaren och >3 mätvärden för WILE-mätaren.

0/4 & 0/2		Torr			Fuktig			Blöt		
		Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		3,1	3,9	3,7	5,9	8,0	4,2	11,4	10,5	11,2
ELMA-mätare	Medel	37,9	47,3	32,6	74,4	76,9	46,1	79,9	79,6	84,5
Tillplattat material	Std	13,7	8,8	14,1	13,3	8,1	7,8	12,7	12,7	13,0
WILE-mätare	Medel	16,8	20,8	26,1	20,6	22,4	28,0	24,6	28,3	30,0
Inställning 2	Std	0,8	2,3	1,5	0,4	1,2	1,1	1,4	2,1	1,2
WILE-mätare	Medel	18,5	21,9	23,9	21,7	22,9	26,8	24,1	45,2	33,1
Inställning 5	Std	0,2	0,6	1,3	0,3	1,0	1,9	0,7	2,7	4,7

4/8

Värden erhållna från analys enligt SS-EN 1097-5 visar att mätningarna på de torra och blöta materialen i alla tre täkter har liknande fukthalter internt (Tabell 4). Resultaten mellan fuktkvotsmätningar på de fuktiga materialen varierar dock en del, där täkt 2 avviker med en lägre fukthalt (0,5%) än de övriga två täkterna (1,5% respektive 3,6%). Täkt 2 har enligt laboratorieprovning samma fukthalt i både de torra och fuktiga proverna. Wile-mätaren visar dock att det fuktiga materialet har högre fukthalter än det torra materialet.

Tabell 4. De olika fukthalterna uppmätta i fält samt fuktkvot uppmätt enligt SS-EN 1097-5 på 4/8. Medelvärde är baserat på >9 mätningar för Elma-mätaren och >3 mätvärden för WILE-mätaren.

4/8		Torr			Fuktig			Blöt		
		Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		0,1	0,5	0,6	1,5	0,5	3,6	3,1	4,5	4,5
ELMA-mätare	Medel	17,0	24,5	27,4	29,5	23,8	42,9	41,6	56,1	56,4
Tillplattat material	Std	6,1	4,9	5,2	4,7	2,8	9,5	4,6	9,7	18,0
WILE-mätare	Medel	11,2	14,9	16,1	17,1	15,8	18,8	20,9	20,3	24,6
Inställning 2	Std	0,3	0,8	0,9	0,4	0,2	0,8	0,2	1,1	1,4
WILE-mätare	Medel	11,6	17,3	18,0	20,7	18,1	21,2	22,2	21,6	23,4
Inställning 5	Std	1,2	0,6	1,5	0,5	0,6	0,2	0,2	0,2	0,5

8/16

Resultaten från fuktmätningarna i laboratorium visade att mätningarna på torrt material uppvisade försumbar variation i fukthalt i alla tre täkter (Tabell 5). Man kan också utläsa att täkt 1 genomgående hade lägre värden än övriga två täkter, för alla fukthalter.

Data insamlad med fuktmätaren Elma-128 uppvisar relativt stor spridning, vilket också framkommer som en genomgående hög standardavvikelse för den interna variationen.

Tabell 5. De olika fukthalterna uppmätta i fält samt fuktkvot enligt SS-EN 1097-5 på 8/16. Medelvärde är baserat på >9 mätningar för Elma-mätaren.

8/16		Torr			Fuktig			Blöt		
		Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		0,0	0,4	0,5	0,9	1,0	2,1	1,5	3,7	3,0
ELMA-mätare	Medel	8,4	35,8	25,4	29,0	36,6	29,4	33,4	58,2	42,6
Tillplattat material	Std	3,7	16,3	4,2	9,1	6,1	5,9	5,9	8,9	10,2

0/16

Resultaten av analyser av fukthalten (Tabell 6) i laboratorium enligt SS-EN 1097-5 visar att sortering 0/16 hade en jämförbar fukthalt i alla de tre täkterna vid mätning på torrt material. Vid mätning av de fuktiga upplagen blev fukthalterna för täkt 1 och täkt 3 jämförbara, medan den blev nästan dubbelt så hög för täkt 2. En närmare analys av mätningarna från WILE-fuktmätaren visade på jämna fukthalter mellan de olika täkterna och den interna standardavvikelsen var låg.

Ytterligare jämförelser av fukthaltsanalyserna enligt SS-EN 1097-5 på fuktiga och blöta material i täkt 2, gav att värdet uppmätt på det blöta materialet var något lägre (5,9%) än fukthalten i fuktigt material (6,0%). Resultaten från fuktmätarna i fält visar dock att alla mätningar på vått material hade högre fukthalt än de fuktiga mätningarna.

Tabell 6. De olika fukthalterna uppmätta i fält samt fuktkvot enligt SS-EN 1097-5 på 0/16. Medelvärdet är baserat på >9 mätningar för Elma-mätaren och >3 mätvärden för WILE-mätaren.

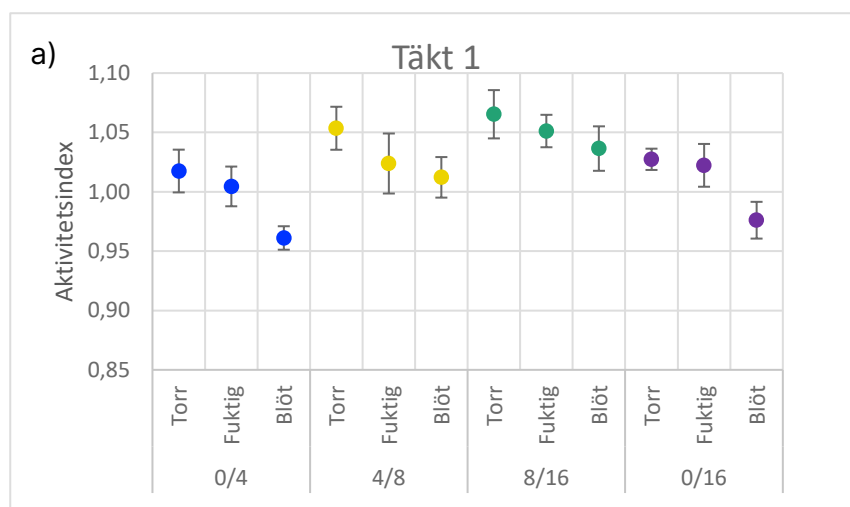
0/16		Torr			Fuktig			Blöt		
		Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		1,3	1,8	2,1	3,5	6,0	3,6	7,5	5,9	8,5
ELMA-mätare	Medel	43,5	64,3	39,1	50,4	63,1	50,0	62,6	75,6	82,6
Tillplattat material	Std	6,0	7,2	7,7	6,9	9,9	7,6	7,3	16,1	12,2
WILE-mätare	Medel	16,9	21,6	22,6	20,5	24,5	23,6	27,7	31,7	29,5
Inställning 2	Std	0,5	1,0	0,5	0,3	1,2	0,7	0,2	1,5	0,2
WILE-mätare	Medel	18,1	22,4	22,4	21,7	23,9	23,6	26,0	30,8	30,1
Inställning 5	Std	0,1	0,5	0,4	0,3	0,3	0,7	1,1	3,3	0,9

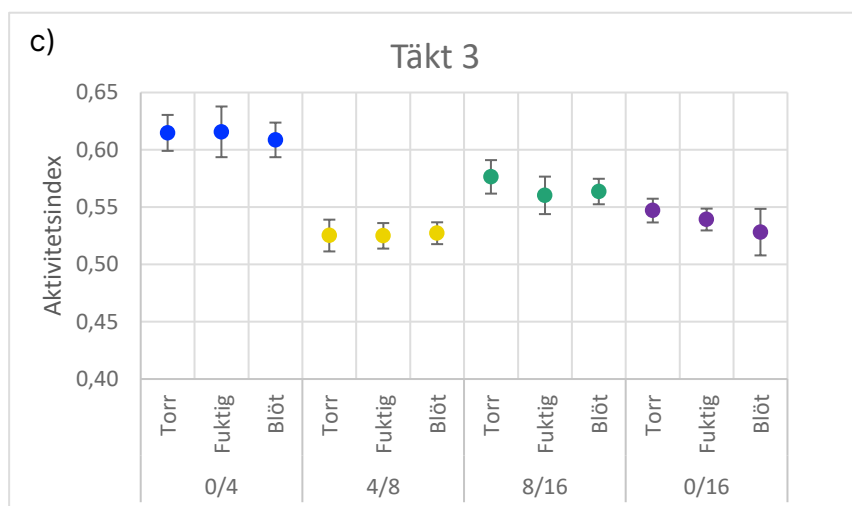
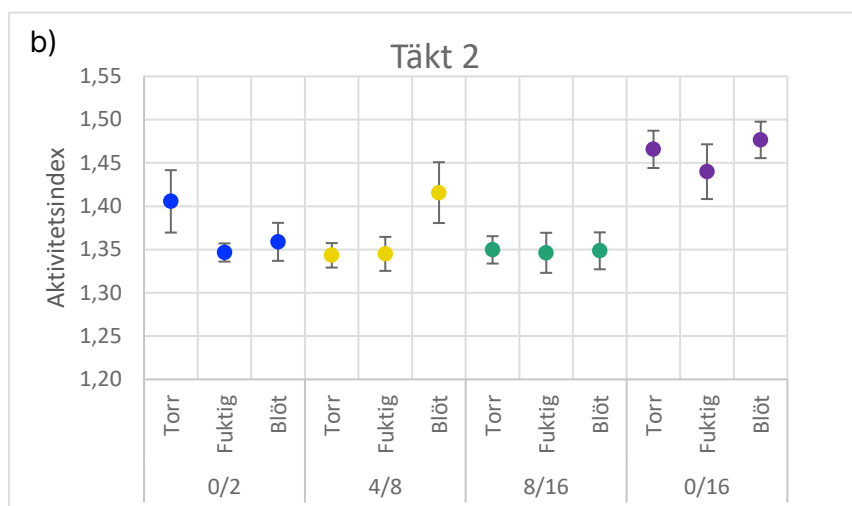
3.1.2 Strålningsdata

Nedan redovisas de olika resultaten från strålningsmätningarna i fält, aktivitetsindex, radium-226, torium-232, kalium-40 och totalstrålning redovisas under separata stycken.

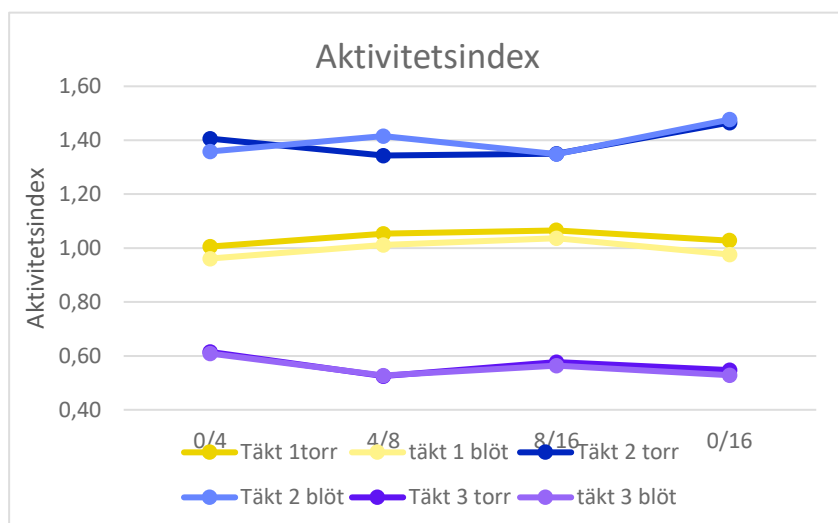
Aktivitetsindex

Resultaten visar att variationen i aktivitetsindex vid mätning vid olika fukthalt, är relativt små. Vid granskning av resultaten från täkt 1 (Figur 11a) syns en trend med lägre aktivitetsindex vid ökad fukthalt. Dock är skillnaderna i de uppmätta värdena på aktivitetsindex försumbara, som mest 0,05 enheter. Samma trend syns i täkt 3 (Figur 11c), dock med ännu mindre differens. Värdena från täkt 2 (Figur 11b) avviker, med ett ökat aktivitetsindex uppmätt på blött material i sortering 4/8 och 0/16. Skillnaden mellan mätningarna på torrt och blött material är dock bara 0,06 enheter, vilket är försumbart i sammanhanget. Vid närmare studie av diagrammet i figur 12 utläses att skillnaden mellan mätningar på blött och torrt material inte skiljer sig anmärkningsvärt åt mellan några av täkterna.





Figur 11. Resultat av mätningar av aktivitetsindex. a-c) visar skillnaden mellan de olika fukthalterna på de olika fraktionerna för täkt 1–3. Punkterna redovisar medelvärdet och strecken illustrerar den standardavvikelse som finns för de nio mätningarna.



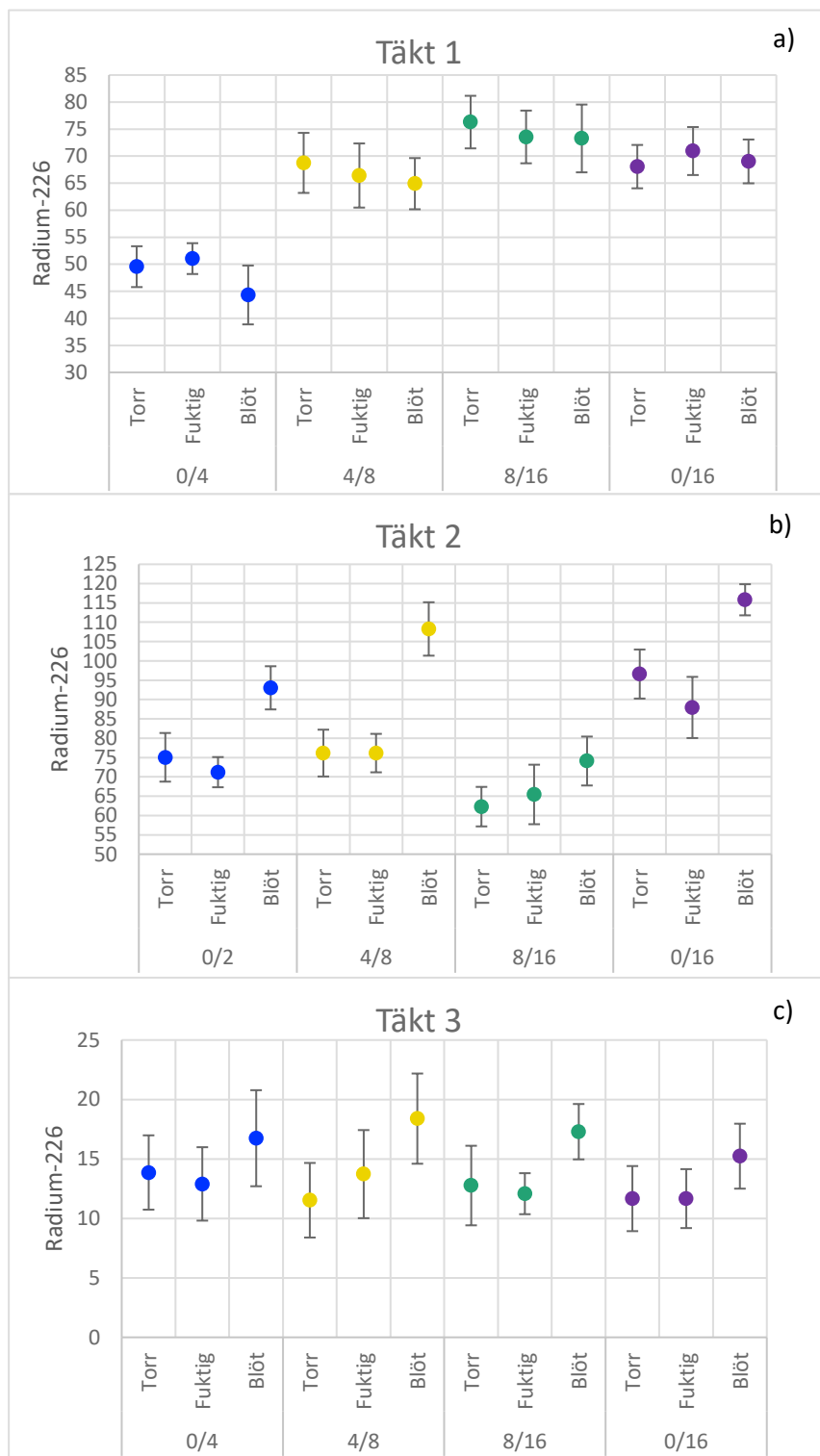
Figur 12. Visar skillnaden i aktivitetsindexen mellan torr och blöt för varje täkt och fraktion.

Radium-226

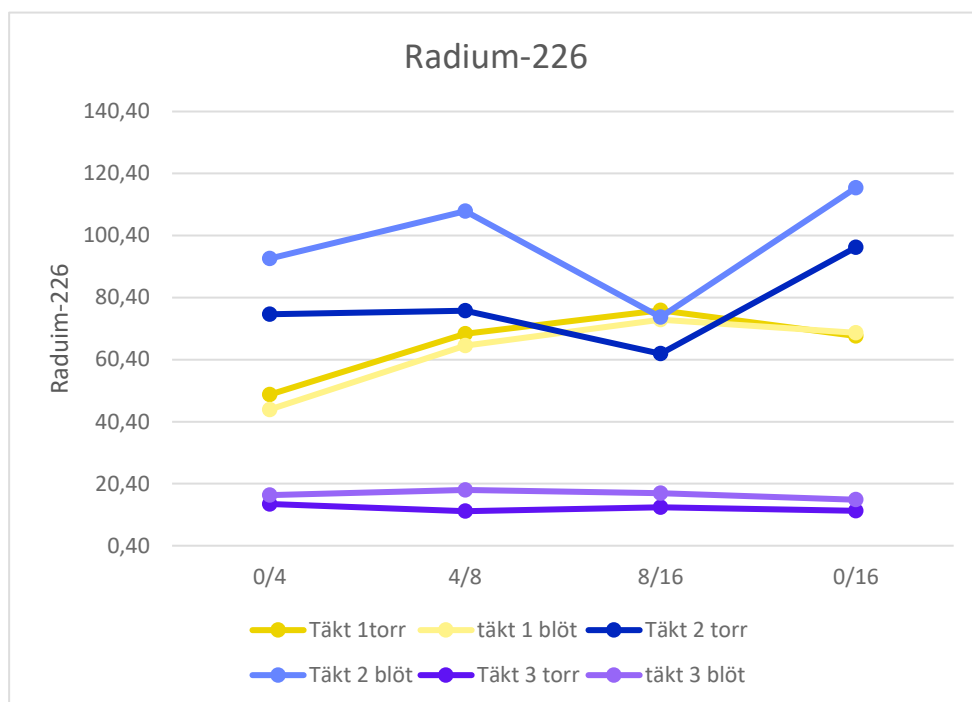
Resultaten visar att det finns skillnader i mätvärdena för material med olika fukthalt, men att den i täkt 1 och 3 är så pass liten att den är försumbar.

Resultaten från täkt 3 (Figur 13c) visar en viss samvariation mellan radium-226 koncentration och fukthalt. Som mest skiljer mätvärdena mellan mätning på torrt respektive blött material 7 Bq/kg. Samma trend syns i täkt 2 (Figur 13b), dock med en betydligt större skillnad (32 Bq/kg).

Den procentuella skillnaden varierar som mest mellan 35 och 46 % för både täkt 2 och 3, vilket indikerar att trenden med ökande radiumkoncentrationer vid högre fukthalt är liknande för både material höga halter radium-226 (täkt 2) och låga värden radium-226 (täkt 3). Skillnaden mellan mätningar på blött och torrt material skiljer sig inte signifikant åt i täkt 1 och 3. Dock sker en större ändring på halten radium-226 i täkt 2 och då främst på sortering 4/8.



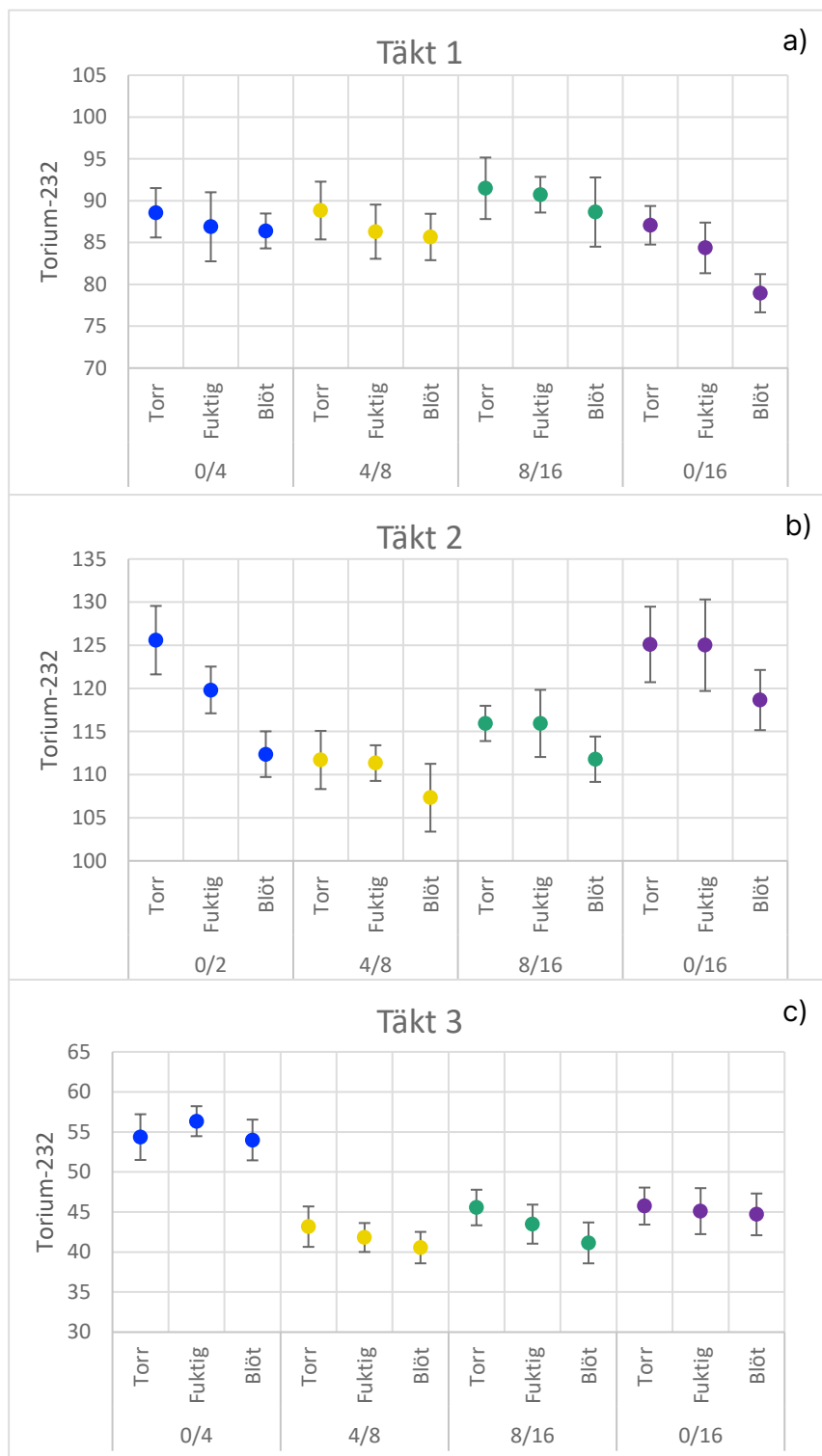
Figur 13. Resultat för mätvärdena på radium-226. a-c) visar skillnaden mellan de olika fukthalterna på de olika fraktionerna för täkt 1–3. Punkterna redovisar medelvärdet och strecken illustrerar den standardavvikelse som finns för de nio mätningarna.



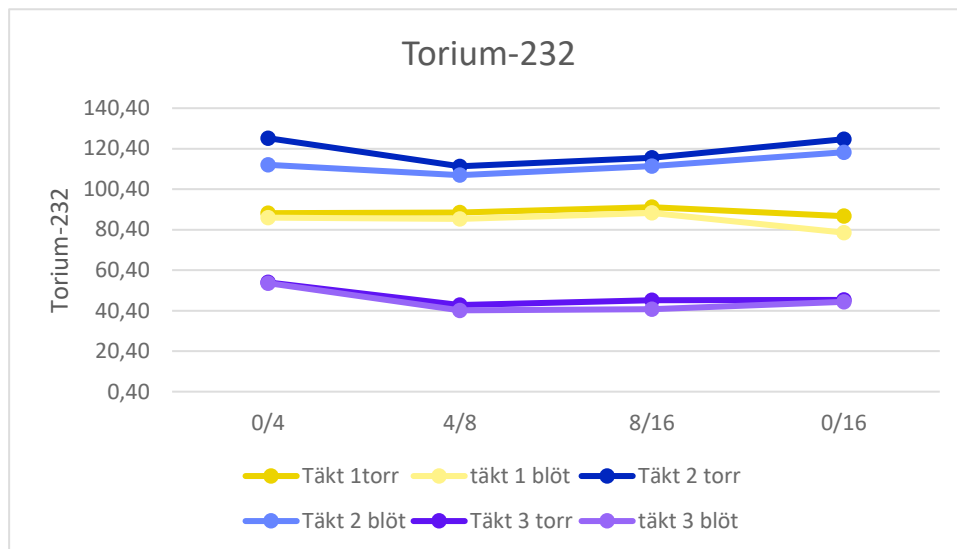
Figur 14. Visar skillnaden i radium-226 mellan torr och blöt för varje täkt och fraktion.

Torium-232

Analyserna av torium uppvisar en variation kopplad till olika fukthalt. Ett samband syns som en trend med sjunkande Torium-232 koncentration vid ökad fukthalt (Figur 15a-c). Den största skillnaden mellan mätningar på torrt och blött material var 13 Bq/kg. Dock skiljer sig mätningarna vid olika fukthalt som mest 10–11% för alla tre täkter. Skillnaden i toriumkoncentration vid olika fukthalt skiljer sig inte signifikant åt mellan några av täkterna (Figur 16).



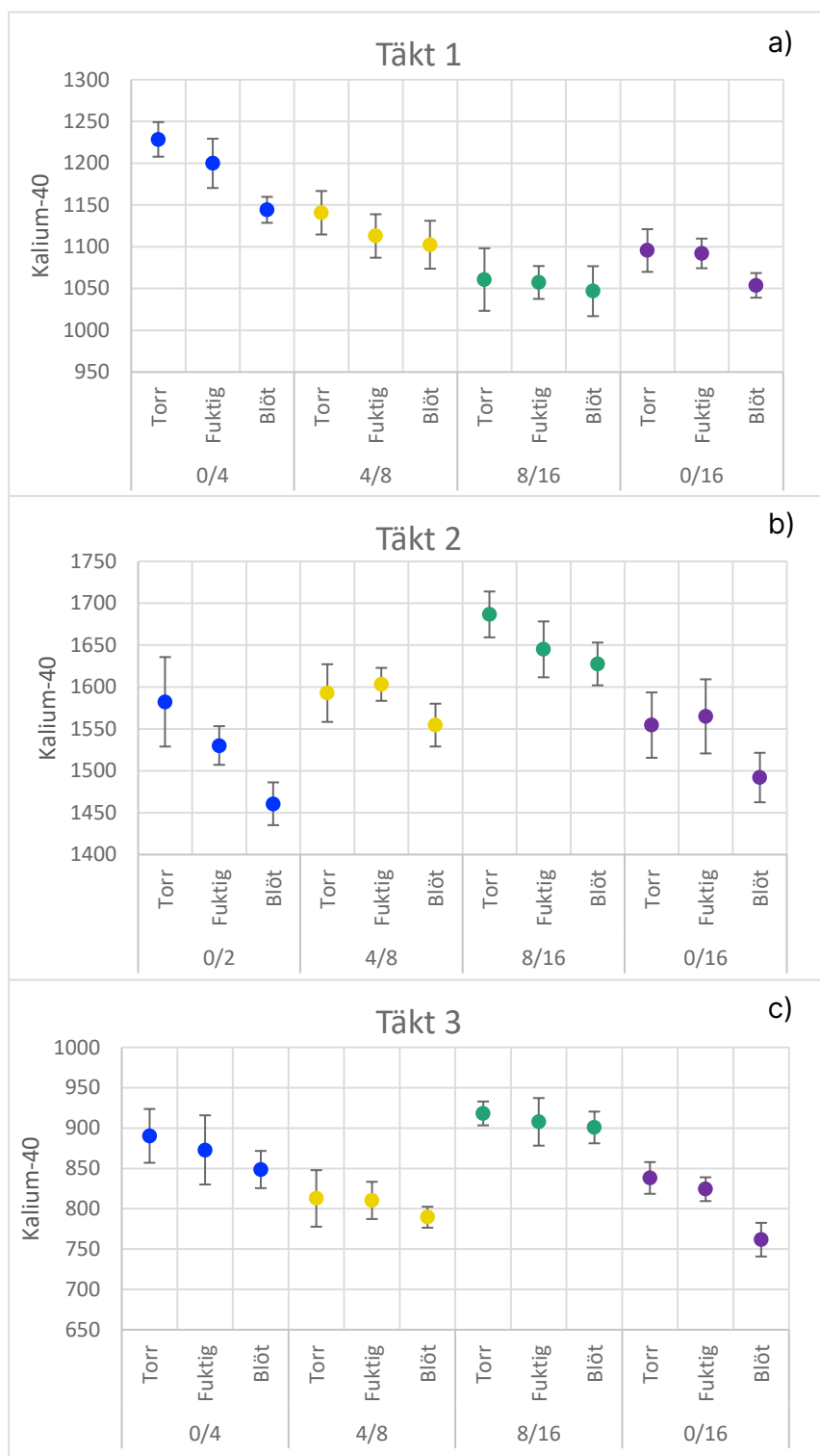
Figur 15. Resultat för mätvärdena på torium-232. a-c) visar skillnaden mellan de olika fukthalterna på de olika fraktionerna för täkt 1–3. Punkterna redovisar medelvärdet och strecken illustrerar den standardavvikelse som finns för de nio mätningarna.



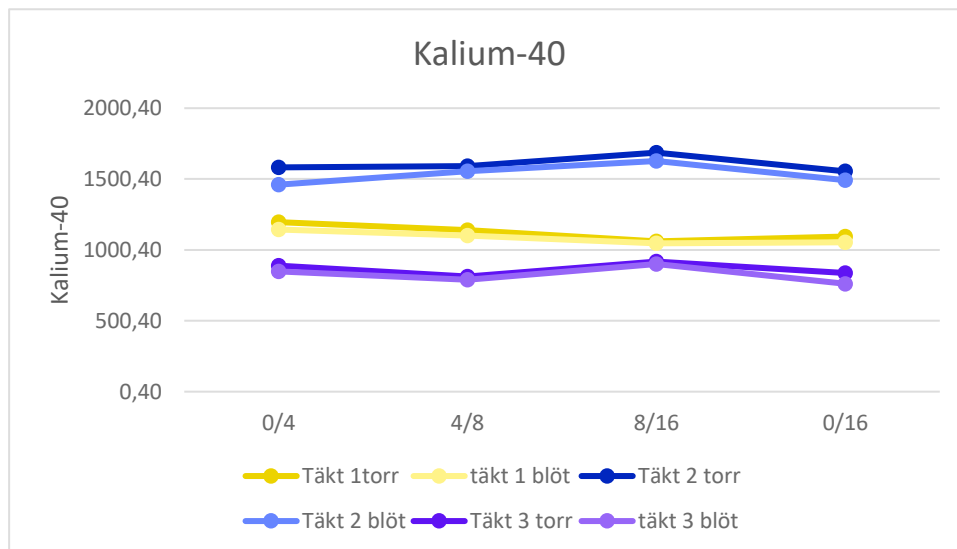
Figur 16. Visar skillnaden för torium-232 mellan torr och blöt för varje täkt och fraktion.

Kalium-40

Analyserna av kalium uppvisar en variation kopplad till olika fukthalt. Ett samband syns som en trend med sjunkande kalium-40 koncentration vid ökad fukthalt (Figur 17a-c). Den största skillnaden mellan mätningar på torrt och blött material var 122 Bq/kg, med en maximal procentuell skillnad mellan täkterna på 8–9%. Skillnaden i kaliumkoncentration vid olika fukthalt skiljer sig inte signifikant åt mellan några av täkterna (Figur 18).



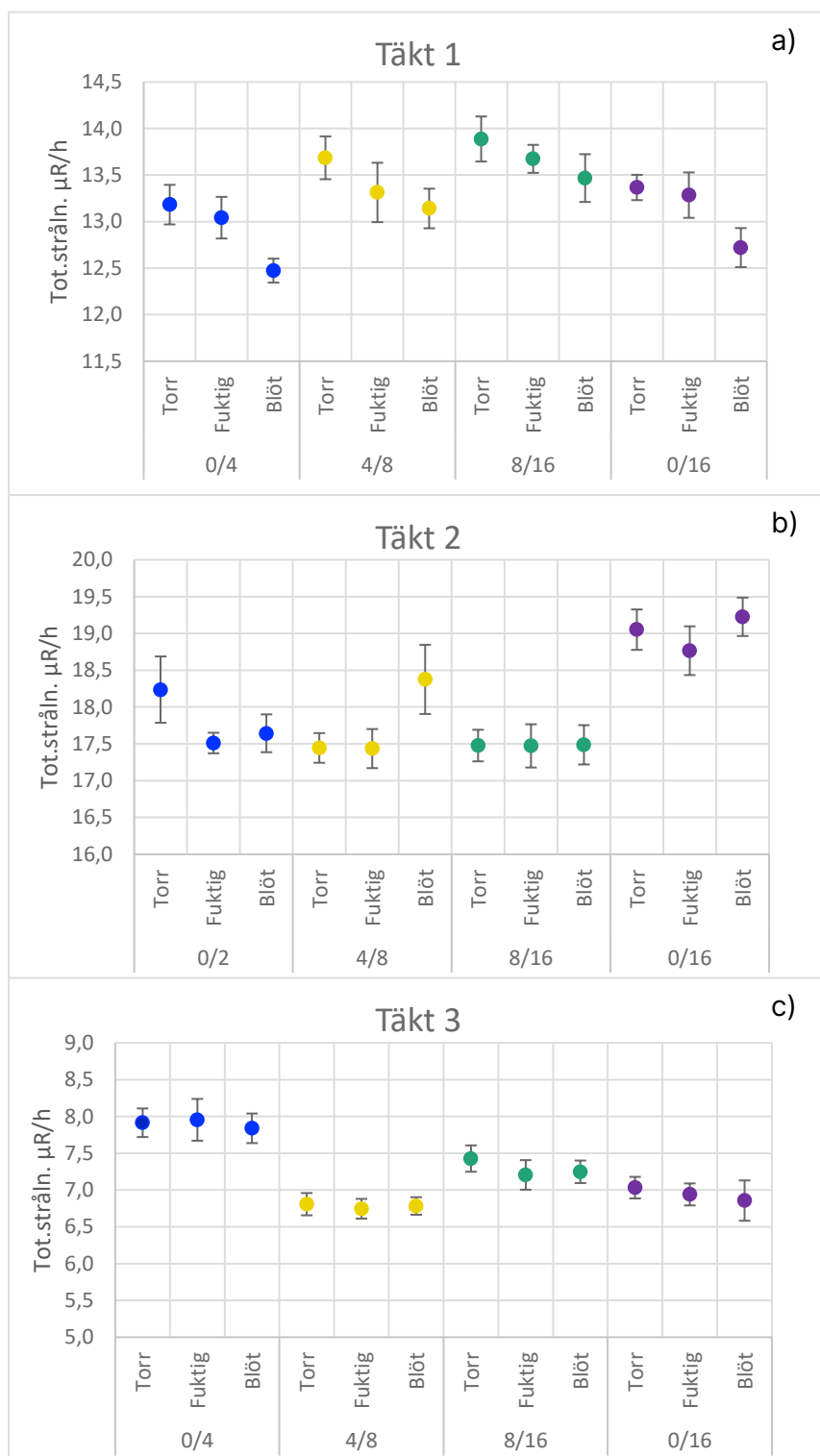
Figur 17. Resultat för mätvärdena på kalium-40. a-c) visar skillnaden mellan de olika fukthalterna på de olika fraktionerna för täkt 1-3. Punkterna redovisar medelvärdet och strecken illustrerar den standardavvikelse som finns för de nio mätningarna.



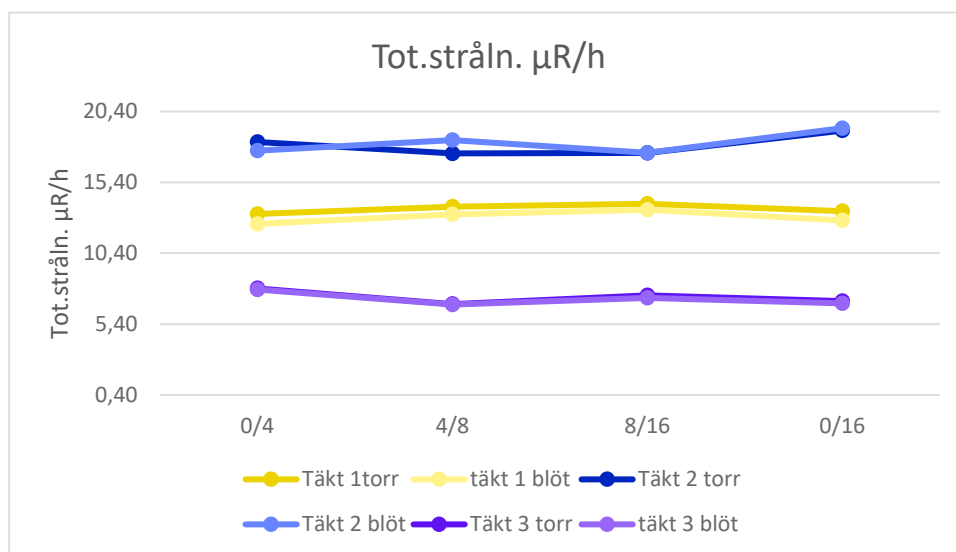
Figur 18. Visar skillnaden för kalium-40 mellan torr och blöt för varje täkt och fraktion.

Totalstrålning

Resultaten visar att de variationer som finns mellan mätningarna på material med olika fukthalt är så pass små att betydelsen är försumbar. Resultaten från täkt 1 (Figur 19a) visar en trend med lägre totalstrålning vid ökad fukthalt. Samma trend syns i täkt 3 (Figur 19c), dock med mindre skillnad. Värdena från täkt 2 (Figur 19b) avviker med en högre halt totalstrålning vid mätning på blött material på sortering 4/8 och 0/16. Vid närmare studie av diagrammet i figur 16d utläses att skillnaden mellan blöt och torr mätning inte skiljer sig anmärkningsvärt i någon täkt. Skillnaden i totalstrålning vid olika fukthalt skiljer sig inte signifikant åt mellan några av täkterna (Figur 20).



Figur 19. Resultat för mätvärdena på total strålning ($\mu\text{R/h}$). a-c) visar skillnaden mellan de olika fukthalterna på de olika fraktionerna för täkt 1–3. Punkterna redovisar medelvärdet och strecken illustrerar den standardavvikelse som finns för de nio mätningarna.



Figur 20. Visar skillnaden för den totala strålningen mellan torr och blöt för varje täkt och fraktion.

3.2 Laboratorieprovning enligt SS 27100:2023

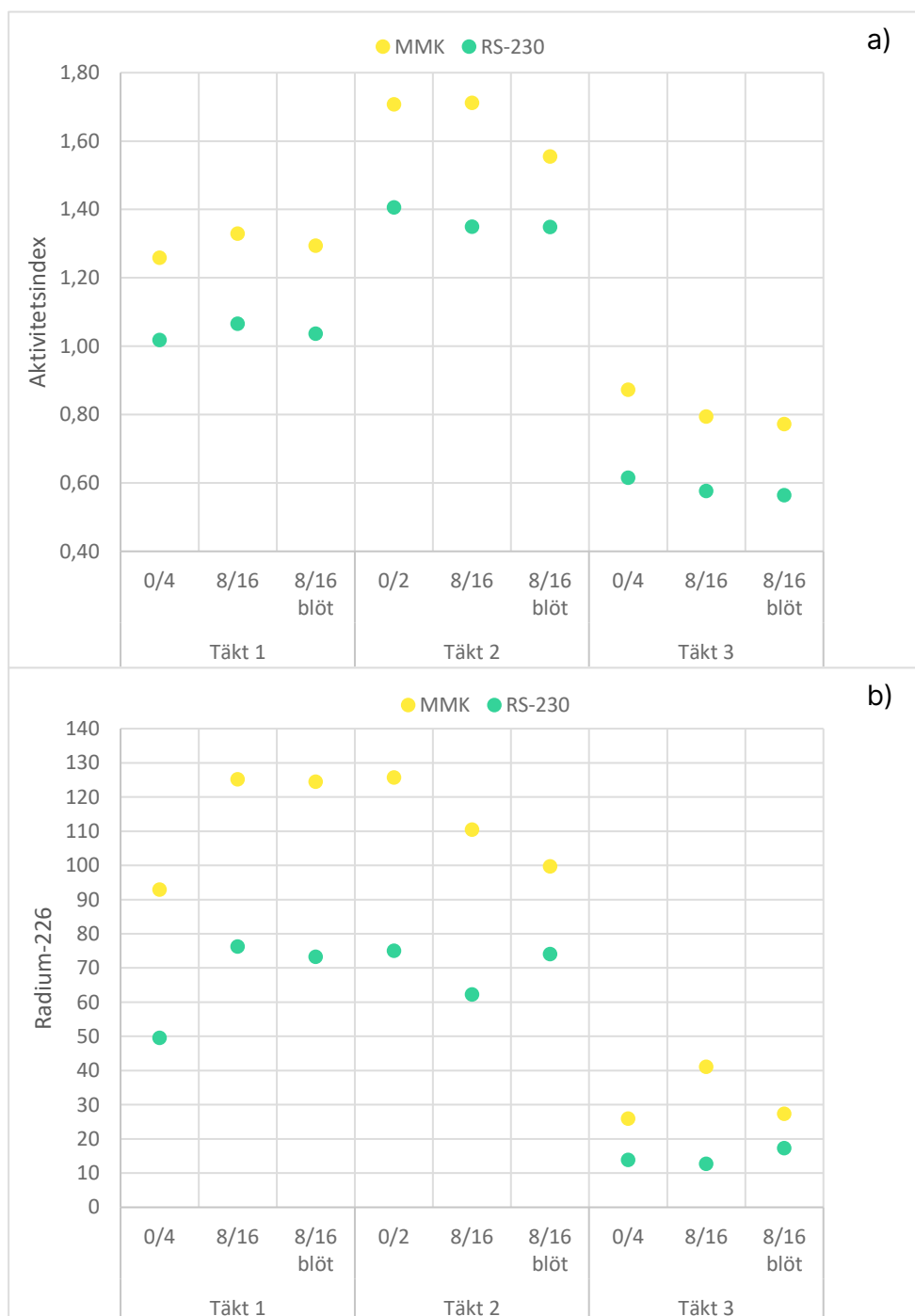
Fukthalten i materialet som analyserades hos Mark och miljökontroll i Särö AB (MMK) redovisas tillsammans med fukthalten i fält för strålningsmätaren RS-230 i tabell 7. Fukthaltsvärdet för torr mätning hos MMK är laboratorietorr, det vill säga noll.

Tabell 7. Fukthalten för prover analyserade hos MMK samt motsvande prover från fältmätningar med RS-230.

	Täkt 1			Täkt 2			Täkt 3		
	0/4	8/16	8/16 blöt	0/2	8/16	8/16 blöt	0/4	8/16	8/16 blöt
Fuktkvot MMK	0,0	0,0	2,1	0,0	0,0	4,2	0,0	0,0	2,8
Fuktkvot RS-230	3,1	0,0	1,5	3,9	0,4	3,7	3,7	0,5	3,0

Laboratiemätningarna hos MMK ger genomgående något högre strålningsvärden än strålningshalten som uppmättes i fält med gammaspektrometer RS-230, se figur 21. Täkt 1 uppvisar en skillnad på ca 20% i aktivitetsindex mellan mätningarna utförda hos MMK och mätningar i fält, oberoende av fukthalt och i täkt 3 var skillnaden 27%. I täkt 2 är skillnaden mellan MMK och RS-230 i fält 21% för mätningarna på torrt material och minskar sedan till en skillnad på 13% mellan mätvärdena på blött material, där värdet på aktivitetsindex uppmätt hos MMK går från 1,71 på torrt material till 1,55 för blött (Figur 21a).

För radium-226 (Figur 21b) uppvisar täkt 1 jämförbara koncentrationer mellan torrt och blött material hos både MMK och i fält. I täkt 2 och 3 ger mätningarna hos MMK lägre radium-226-koncentrationer vid mätning på blött än torrt material, medan fältmätningen ger en högre koncentration vid mätning på blött material. Skillnaden mellan mätningarna för täkt 2 minskar från 44% i torrt material till 26% i blött. Täkt 3 uppvisar skillnad på 69% mellan mätningar i fält och hos MMK för torrt material, vilket minskar till 37% för mätningar på blött material. I Bilaga 3 redovisas alla data mellan RS-230 och MMK.



Figur 21. Mätdata från Mark och miljökontroll i Särö AB (MMK) enligt SS 27100:2023 och i fält med RS-230 för mätningarna på 8/16 torr och blöt i de tre olika täkterna. a) Resultatet för aktivitetsindex, b) resultatet för Radium-226.

4 Utvärdering av resultat

4.1 Utvärdering av resultat från strålningsmätningar

Resultaten från studien visar att de skillnader som finns mellan mätningar avseende totalstrålning och aktivitetsindex på torrt respektive blött material för det mesta inte skiljer sig mer än gammaspektrometers interna felmarginal, som kan utläsas i instrumentets användarmanual (Radiation Solutions Inc., 2015) samt enligt den standardavvikelse som uppmäts under projekts gång (Avsnitt 3.1.2). Den skiljer sig inte heller mot den naturligt förekommande variationen som uppstår i samband med sönderfallsprocessen av de naturliga radionukliderna i bergmaterialet.

Vid närmare analys av resultaten från strålningsmätningarna med olika fukthalter förefaller det uppkomma en instrumental fellösning av strålningsvärdena vid högre fukthalt. Detta gäller för resultaten på radium-226 och torium-232. I resultatet syns en tendens till att när halterna radium-226 ökar så minskar halterna torium-232 något.

En hypotes är att gammaspektrometern får svårare att särskilja de olika energinivåerna vid högre fukthalt. Med den handhållna gammaspektrometern i fält registreras nivåerna av torium-232 som lägre, medan nivåerna för radium-226 registreras som högre. Det verkar ha skett en "energiförflyttning". Det hade varit önskvärt om antalet counts per mätparameter hade kontrollerats i gammaspektrometern för varje mätning. Detta för att kunna tolka resultatet bättre. Dock sparades ej data från mätningarna och kunde därför inte studeras för att kunna validera hypotesen. Varken nivåerna för totalstrålning eller aktivitetsindex har förändrats drastiskt. Det finns anledning att studera fenomenet vidare och kartlägga relationen mellan radium-226, torium-232 och fukthalt.

Studien visar att man kan få en förhöjd halt radium-226 på upp till 46% om mätning sker på blöta material. Detta förhållande syns tydligast i data från i täkt 2 där strålningshalterna är högre. Det ska dock noteras att den procentuella skillnaden mellan mätningar på torra respektive blöta material är som störst för radium-226 i täkt 3. Effekten blir dock störst för material med höga strålningsvärden.

Rekommendationen blir därför att inte utföra mätningar på fuktiga bergmaterial med höga strålningsvärden, om det är halten radium-226 som är av intresse, då görs detta bättre på torrt material.

Mätning på bergmaterial med låga strålningsvärden verkar därför kunna utföras oberoende av fukthalten. Effekten av en ökad halt radium-226 blir försumbar för bergmaterial med låga strålningsnivåer, även om den procentuella skillnaden är hela 46%. Materialets radonklassning påverkas inte heller.

Den procentuella skillnaden som redovisas i rapporten är den maximalt uppmätta skillnaden mellan de olika sorteringarna och täkterna. Det innebär att det finns skillnader som är betydligt mindre, vilket man även kan se i figurerna 12, 16, 18 och 20. I de flesta fallen hamnar skillnaden inom ramen för de felkällor som kommer från det naturliga sönderfallet och instrumentet.

Resultaten från projektet visar att för låg- och normalstrålande bergmaterial går det utmärkt att göra fältmätningar av strålningen även när materialet är blött, medan för normal- till högstrålande material bör mätningar undvikas på alltför blöta material.

4.2 Jämförelse mellan fältmätningar och labbtester

Laboratiemätningarna som utfördes hos MMK gav genomgående högre strålningsvärden än det som uppmättes i fält. Detta beror sannolikt på två olika saker. För det första, vid mätningarna hos MMK gjordes en densitetskorrigering på mätresultatet, vilket inte har gjorts på resultaten från fältmätningarna. Den andra orsaken till skillnaden är sannolikt att de olika gammaspektrometrarna kan ha kalibrerats olika.

Resultaten från studien visade att värdena för radium-226 för både mätningar utförda i fält och laboratorium uppvisar en korrelation till bergmaterialets fukthalt. För mätningar gjorda med gammaspektrometern i fält syns en positiv korrelation med ökad koncentration radium-226 för våtare bergmaterial, medan för mätningar gjorda i laboratorium syns en negativ korrelation, med minskande koncentrationer radium-226 med blötare bergmaterial. Denna skillnad skulle kunna uppstå på grund av att det är två olika gamma-spektrometrar som använts i fält och i laboratorium. Tyvärr saknas information för att avgöra vad de olika resultaten beror på. Det hade varit intressant att mäta med samma gammaspektrometer i både fältmiljö och laboratiemiljö för att studera denna skillnad vidare. Resultatet för jämförelsen är svårtolkat och ingen konkret slutsats kunde nås.

Mätningar avseende aktivitetsindex verkar ha en liknande trend för både mätningar gjorda i fält och hos MMK.

4.3 Felkällor

Det finns en del felkällor att ta i beaktning, bland annat relaterat till utrustningen och den miljö mätningarna utfördes i.

För gammaspektrometern gäller att mätfel kan uppstå om instrumentet ej har stabiliserat sig, vilket kan generera stor dataspridning. Signifikanta fel kan också inträffa om geometrin ändras mellan mätinstrumentet och mätytan. Dessa felkällor har hanterats genom att inga mätningar påbörjats innan instrumentet stabiliserats, och mätaren har ej flyttats mellan mätningarna.

Fuktmätare WILE har en felmarginal på $\pm 2\%$. Båda fuktmätarna har automatisk kalibrering. Enligt tillverkaren bör mätning ej utföras vid för hög luftfuktighet då detta kan påverka bakgrundsvärden betydligt. I innevarande projekt har detta ej varit relevant.

Omgivningen som mätningarna görs i kan ha stor inverkan på mätresultaten. Det bästa mätscenariot är på en plan, öppen yta utan topografiska landformer eller byggnader som kan påverka resultaten. Om mätplatsen ligger för nära pallkanter, höga upplag eller andra föremål kan mätvärdena öka med upp till 20%, en siffra som baseras på många års erfarenhet av denna typ av mätningar. Inom ramen för projektet fanns goda

möjligheter att minimera denna felkälla. I täkt 1 och 3 var mätplatserna optimala, medan i täkt 2 var mätmiljön inte optimal, men för platsen den bästa möjliga.

I fält visade fuktmätarna att fukthalten hade ökat i samband med att upplagen hade bevattnats. Dock visade analys av fuktkvot enligt SS-EN 1097-5 på materialet att fuktkvoten för ett fåtal provupplag inte ökat alls, utan snarare var lägre än resultaten för de torra upplagsmätningarna. Detta tillskrivs att provpåsarna troligen inte blivit helt tätt förslutna efter provtagning.

Att det hade regnat dagen innan mätning utfördes i täkt 2 kan ha påverkat resultaten. Mängden nederbörd samt tid för nederbörd borde noterats i studien i syfte att dokumentera förutsättningarna och felkällorna korrekt. I efterföljande projekt kommer insamling av relevant data planeras bättre i projektets tidiga stadie, detta för att säkerställa att tillräckligt med information finns tillgänglig i resultatsammanställningen.

5 Slutsatser

Syftet med innevarande projekt var att studera huruvida det finns en korrelation mellan bergmaterialets fukthalt och vilka strålningsvärden som uppmätts.

Resultaten i studien visade att skillnaden mellan mätresultaten för totalstrålning och aktivitetsindex på torrt och blött bergmaterial faller inom ramen för den varians som kan tillskrivas interna felkällor i instrumentet samt den naturliga variationen i radioaktivt sönderfall. Skillnaden mellan mätningar för ovan nämnda parametrar på torrt och blött bergmaterial är alltså inte större än den statistiska osäkerheten som uppstår genom att radioaktivt sönderfall är en stokastisk process. Halten radium-226 har dock observerats variera relativt mycket vid mätning i blöta bergmaterial, vilket syns i mätningarna från täkt 2. För mätningar gjorda i fält observerades förhöjda halter radium-226 vid ökad fukthalt, medan i laboratorium hos MMK observerades minskade halter radium-226 vid ökad fukthalt.

Resultaten från mätningarna indikerar att det föreligger en risk med instrumental felläsning mellan torium-232 och radium-226 vid mätningar på blött bergmaterial. För fältmätningarna var ökningen av radium-226 inom studien som mest 46%. Detta bör studeras ytterligare, särskilt på bergmaterial med högt aktivitetsindex då det kan påverka bedömningen av riskerna kring radonhalterna i materialet. För bergmaterial med låga radonvärden bedöms fukthalten ha liten påverkan på slutresultatet för strålningsmätning med gammaspektrometer då en ökning med 50% inte ger särskilt stora utslag. Mätning på bergmaterial med kända låga strålningsvärden kan alltså utföras oberoende av bergmaterialets fukthalt. Ska mätning ske på bergmaterial med okända strålningshalter eller med kända höga strålningshalter bör mätning fortsatt ske på så torra material som möjligt.

Mätningarna är fortfarande begränsade av nederbörd och bör således inte utföras under tillfällena med, eller för tätt efter nederbörd. Åtminstone fram till dess att nederbördens effekt på mätningar av strålning är kartlagd.

Skillnaden i strålningsresultatet mellan fältmätningarna och mätningar i laboratorium beror sannolikt på två orsaker. Dels att mätningarna i laboratorium densitets-korrigerats, men att detta inte gjorts för fältmätningarna, dels att det är två olika mätare och att dessa kan ha kalibrerats olika.

Projektet innefattade egentligen inte en genomgång av hur man jobbar med strålning och radon i miljöcertifieringar. Dock gjordes en mindre inventering som visade att i några vanligt förekommande miljöcertifieringar snarare hänvisar till lagstiftning än gör egna rekommendationer, vilket i och för sig är korrekt. De krav som ställs på radon och gammastrålning i miljöcertifieringarna var förhållandevis milda. Det här är något som bör läggas mer fokus på i framtiden.

För de i projektet testade fuktmätarna framkom att Elma DT-128-instrumentet sannolikt inte ger absoluta värden på fukthalten, men att den kan användas för att ge en indikation om fukthalten är låg eller hög i materialet. Man bör dock göra en mängd mätningar (5-10st) för att få ett bra genomsnitt.

WILE-mätaren fungerar stabilt och ger jämna och fina värden. Inom ramen för denna studie har mätaren främst använts som en indikator på att rätt fukthalt har uppnåtts i provupplagen i fält. För att använda mätaren för att erhålla absoluta värden i fält, rekommenderar vi att mer genomgående jämförelse mellan fuktkvot enligt SS-EN 1097-5 och vilka mätvärden fuktmätaren registrerar.

Studien har genererat data som ökar tillförlitligheten till mätvärden från gamma-spektrometern, samt tydligare synliggör de fel som kan uppstå vid mätning på vått material. Under projektets gång har även nya intressanta frågor dykt upp vilka diskuteras nedan.

5.1 Framtida arbeten

Resultaten från undersökningarna i denna studie visar att fältmätningar av aktivitetsindex och totalstrålning inte påverkas signifikant av bergmaterialets fuktighet. Det finns dock indikationer på att det förekommer risk för instrumental felläsning mellan torium-232 och radium-226 vid mätningar på blött material. I fält var denna ökning som mest 46%. Det hade varit av stort intresse att kartlägga denna avvikelse närmare för att eventuellt kunna korrigera mätdata från mätningar av vått material. Ett förslag på vidare projekt är att jämföra olika gammaspektrometrar med varandra för att undersöka hur generella observationerna från innevarande projekt är. Om det finns en liknande trend för avläsningen hos alla gammaspektrometrar kan potentiellt en korrigeringsfaktor tas fram korrelerat till bergmaterialet fukthalt.

Det är i nuläget också oklart hur mätvärdena påverkas av pågående nederbörd, samt vid mätning i närtid efter nederbörd. Det hade varit av intresse att undersöka eventuella skillnader i uppmätta strålningsvärden vid olika väderlekstyper, till exempel sol, regn eller snö. I samband med detta hade det också varit intressant att dokumentera mängd nederbörd, tid sedan nederbörd upphört, samt lufttryck och vindhastighet. Det hade också varit av intresse att kartlägga hur mätresultaten påverkas av isbeläggning på ytan.

Ett annat förslag för framtida projekt är att tillsammans med berörda myndighetsorgan och branschen ta fram underlag för hur byggprodukter bör kravställas med avseende på strålning framöver och kartlägga vad som är rimliga krav att ställa i miljöcertifieringar. Här kan det också vara bra att förtydliga vad som ingår i begreppet byggmaterial och ta fram en arbetsmetodik kring hur och hur ofta strålningsmätningar ska utföras.

En annan utmaning för framtiden är hur cirkulära massor och "nya" byggmaterial ska hanteras ur ett strålningsperspektiv. Hur ska till exempel ett material som lera hanteras i samband med att det börjar användas mer som byggmaterial. Hur bra redovisas strålningsvärden på till exempel aska, som traditionellt har höga strålningsvärden, innan det används i betong? I vilket skede ska mätning av gammastrålning och radonavgång ske? Dessa är alla frågor som skulle behöva utredas närmare.

6 Referenser

- Bea, F. (1996). *Residence of REE, Y, Th, and U in granites and crustal protoliths: implications for the chemistry of crustal melts*. Journal of Petrology 37, s. 521–552.
- Jelinek, C. & Eliasson, T. (2015). *Strålning från bergmaterial*. SGU-rapport 2015:34.
- Naturhistoriska riksmuseet (2024). *Mer om isotopgeologi*. <https://www.nrm.se/fakta-om-naturen/jorden-geologi/jordklotets-utveckling/att-mata-geologisk-tid/mer-om-isotopgeologi> (Hämtad 2024-12-20)
- Olin, J. (2017). *Värden med miljöcertifieringar av byggnader – En fallstudie av samverkande byggaktörers erfarenheter från två husbyggnadsprojekt*. Luleå tekniska universitet
- Radiation Solutions Inc (2015), *RS-125/230 User Manual, Revision 1.05- December 2015*, Radiation Solution Inc.
- Strålsäkerhetsmyndigheten (SFS 2018:396), *Strålskyddslag*. https://www.riksdagen.se/sv/dokument-och-lagar/dokument/svensk-forfattningssamling/stralskyddslag-2018396_sfs-2018-396/ (Hämtad-11-18)
- Strålsäkerhetsmyndigheten (2024b). *Joniserande strålning*. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/om-stralning/joniserande-stralning/?searchQuery=joniserande+str%c3%a5lning> (Hämtad 2024-11-18)
- Strålsäkerhetsmyndigheten (2024a). *Om strålning*. <https://www.stralsakerhetsmyndigheten.se/om-stralning/> (Hämtad 2024-11-18)
- SGU (2024). *Radon*. <https://www.sgu.se/anvandarstod-for-geologiska-fragor/bedomningsgrunder-for-grundvatten/grundvattnets-kvalitet--oorganiska-amnen/radon/> (Hämtad 2024-11-27)
- Sveriges miljömål (2023-03-31), *Sveriges miljömål*, <https://www.sverigesmiljomal.se/miljomalen/>, (Hämtad: 2025-02-13)
- Sweden Green Building Council (2022), *Miljöbyggnad 3.2: Manual nybyggnad*, s. 29-30
- Sweden Green Building Council (2022), *Miljöbyggnad 4.0: Manual nybyggnad*, s. 20-23
- Sweden Green Building Council (2023), *BREEAM-SE Nybyggnad v6.0 Teknisk manual*, s. 136-138

Bilaga

Bilaga 1

Mätvärden från kontroll av fuktmätare i laboratorium.

		0/5	0/5	0/5	0/5	4/8	4/8	8/16	8/16	16/22	16/22	0/32	0/32
Fukthalt uppmätt i labb		0,0	1,1	2,5	10,0	0,1	1,9	0,1	2,6	0,1	1,7	0,6	1,1
ELMA-mätare (kula) "löst"material (knappt nuddat ytan)	Medel	18,4	29,9	34,8	43,4	15,8	39,4	25,3	34,9	32,2	42,6	49,8	64,0
	Std	1,56	1,75	2,08	0,87	1,30	4,26	2,22	2,69	2,50	5,41	4,24	2,40
ELMA-mätare (kula) Tillplattat material	Medel	21,5	45,2	51,2	64,9	15,0	23,7	16,5	24,8	23,6	29,2	50,3	66,4
	Std	0,83	0,42	2,15	1,11	1,16	2,75	0,90	3,61	2,34	1,32	3,35	2,58
WILE-mätare(pinne) Inställning 1	Medel	13,7	18,3	24,2	25,4	15,4	21,4	11,7	19,8	14,9	N/A	N/A	18,4
	Std	0,25	1,52	0,43	2,69	1,34	2,78	0,17	3,23	3,32	N/A	N/A	0,49
WILE-mätare(pinne) Inställning 2	Medel	13,2	15,0	21,6	23,6	12,2	18,7	11,1	15,4	N/A	N/A	N/A	18,6
	Std	0,45	0,79	0,91	0,57	0,61	0,86	0,05	0,17	N/A	N/A	N/A	0,57
WILE-mätare(pinne) Inställning 3	Medel	16,8	21,0	28,1	34,5	15,2	24,6	13,4	21,1	N/A	N/A	N/A	25,3
	Std	0,25	0,43	1,19	0,81	0,14	2,18	0,08	0,09	N/A	N/A	N/A	0,38
WILE-mätare(pinne) Inställning 4	Medel	16,5	19,1	23,7	27,3	15,8	24,9	13,2	23,9	N/A	N/A	N/A	22,5
	Std	0,24	0,59	0,64	1,35	0,37	0,39	0,41	1,53	N/A	N/A	N/A	0,22
WILE-mätare(pinne) Inställning 5	Medel	15,7	18,9	22,6	25,0	15,1	20,9	13,5	19,7	N/A	N/A	N/A	20,5
	Std	0,51	1,08	0,64	0,92	0,09	0,05	0,24	0,56	N/A	N/A	N/A	0,41
WILE-mätare(pinne) Inställning 6	Medel	16,5	20,3	23,9	26,3	16,0	23,5	14,8	23,2	N/A	N/A	N/A	20,5
	Std	0,56	0,54	1,01	1,07	0,62	0,29	0,54	0,71	N/A	N/A	N/A	0,90

Bilaga 2

Komplett data från fukthetsmätningarna i fält.

0/4 & 0/2		Torr			Fuktig			Blöt		
		Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		3,1	3,9	3,7	5,9	8,0	4,2	11,4	10,5	11,2
ELMA-mätare	Medel	37,9	47,3	32,6	74,4	76,9	46,1	79,9	79,6	84,5
Tillplattat material	Std	13,7	8,8	14,1	13,3	8,1	7,8	12,7	12,7	13,0
WILE-mätare	Medel	18,7	18,0	25,6	20,6	24,5	28,2	25,7	31,3	31,4
Inställning 1	Std	0,9	4,1	0,8	0,5	1,8	1,6	0,3	5,3	3,5
WILE-mätare	Medel	16,8	20,8	26,1	20,6	22,4	28,0	24,6	28,3	30,0
Inställning 2	Std	0,8	2,3	1,5	0,4	1,2	1,1	1,4	2,1	1,2
WILE-mätare	Medel	22,0	27,9	31,8	25,4	28,3	36,4	29,8	33,5	36,6
Inställning 3	Std	0,3	1,9	2,6	2,1	2,4	3,5	1,2	7,1	3,8
WILE-mätare	Medel	19,4	24,2	27,4	22,9	24,8	28,5	25,7	36,9	30,8
Inställning 4	Std	1,0	1,8	1,4	0,1	1,6	2,6	0,7	0,9	2,1
WILE-mätare	Medel	18,5	21,9	23,9	21,7	22,9	26,8	24,1	45,2	33,1
Inställning 5	Std	0,2	0,6	1,3	0,3	1,0	1,9	0,7	2,7	4,7
WILE-mätare	Medel	20,8	23,5	26,2	24,9	25,7	29,4	27,1	29,5	32,3
Inställning 6	Std	1,7	0,6	2,1	2,4	2,0	2,1	1,8	3,9	3,1

4/8		Torr			Fuktig			Blöt		
		Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		0,1	0,5	0,6	1,5	0,5	3,6	3,1	4,5	4,5
ELMA-mätare	Medel	17,0	24,5	27,4	29,5	23,8	42,9	41,6	56,1	56,4
Tillplattat material	Std	6,1	4,9	5,2	4,7	2,8	9,5	4,6	9,7	18,0
WILE-mätare	Medel	11,7	15,5	16,0	16,4	16,2	19,4	21,1	20,9	24,5
Inställning 1	Std	0,2	0,4	0,8	0,5	0,5	0,7	0,3	0,4	2,1
WILE-mätare	Medel	11,2	14,9	16,1	17,1	15,8	18,8	20,9	20,3	24,6
Inställning 2	Std	0,3	0,8	0,9	0,4	0,2	0,8	0,2	1,1	1,4
WILE-mätare	Medel	12,2	18,3	19,5	24,5	19,7	23,1	26,0	25,0	28,4
Inställning 3	Std	0,7	0,9	1,8	5,8	0,2	1,1	0,1	0,7	0,3
WILE-mätare	Medel	14,5	18,4	19,8	22,1	19,9	22,2	23,7	23,2	25,8
Inställning 4	Std	3,1	1,0	1,7	0,4	0,3	0,6	0,1	0,3	0,7
WILE-mätare	Medel	11,6	17,3	18,0	20,7	18,1	21,2	22,2	21,6	23,4
Inställning 5	Std	1,2	0,6	1,5	0,5	0,6	0,2	0,2	0,2	0,5
WILE-mätare	Medel	12,7	18,2	19,3	22,3	19,3	22,3	22,0	22,6	25,7
Inställning 6	Std	0,5	1,0	1,4	0,1	0,8	0,5	0,0	0,1	0,7

0/16		Torr			Fuktig			Blöt		
		Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3	Täkt 1	Täkt 2	Täkt 3
Fuktkvot (SS-EN 1097-5)		1,3	1,8	2,1	3,5	6,0	3,6	7,5	5,9	8,5
ELMA-mätare	Medel	43,5	64,3	39,1	50,4	63,1	50,0	62,6	75,6	82,6
Tillplattat material	Std	6,0	7,2	7,7	6,9	9,9	7,6	7,3	16,1	12,2
WILE-mätare	Medel	16,8	22,3	23,6	21,0	25,6	22,2	28,7	30,6	28,5
Inställning 1	Std	0,2	1,1	1,1	0,6	0,9	3,0	1,8	2,6	0,6
WILE-mätare	Medel	16,9	21,6	22,6	20,5	24,5	23,6	27,7	31,7	29,5
Inställning 2	Std	0,5	1,0	0,5	0,3	1,2	0,7	0,2	1,5	0,2
WILE-mätare	Medel	19,0	26,4	29,0	26,5	30,8	28,8	32,6	41,5	34,2
Inställning 3	Std	1,0	0,2	0,3	0,2	1,6	1,3	0,9	3,4	1,8
WILE-mätare	Medel	18,4	23,2	25,0	22,8	26,3	26,8	28,2	32,5	28,0
Inställning 4	Std	0,3	0,4	0,4	0,2	0,6	0,5	0,3	2,0	0,9
WILE-mätare	Medel	18,1	22,4	22,4	21,7	23,9	23,6	26,0	30,8	30,1
Inställning 5	Std	0,1	0,5	0,4	0,3	0,3	0,7	1,1	3,3	0,9
WILE-mätare	Medel	18,5	23,2	24,1	23,1	25,5	27,0	27,1	35,1	28,7
Inställning 6	Std	0,2	0,3	0,6	0,1	0,6	0,4	0,7	1,9	1,8

Bilaga 3

Komplett jämförelsedata mellan Mark och Miljökontroll i Särö AB och mätningarna i fält.

