

Kartering av krympsprickor i sprutbetong

i formar och på bergväggar i LKAB'S gruva i Kiruna

Patricia Löf
Erik Ling

**Berg- och anläggningsindustri, högskoleexamen
2019**

Luleå tekniska universitet
Institutionen för samhällsbyggnad och naturresurser

Sammanfattning

Detta examensarbete genomfördes under våren 2019 vid Bergsskolan Filipstad i samarbete med LKAB Berg & Betong i Kiruna.

Vid alla typer av arbete i berg krävs det att berget förstärks med tanke på säkerheten för personer/personal. Gruvdriften inom LKAB pågår dygnet runt och har en ständig framdrift för att komma djupare ner i berget för att bryta järnmalm. Bergets egenskaper avseende hållfasthet försämras när material bryts ut, därför måste berget förstärkas med hjälp av sprutbetong.

Syftet med denna rapport var att undersöka om det fanns krympsprickor i förstärkningsbetongen som LKAB Berg och Betong använder sig av i gruvan. Krympsprickor i betongen bildas under tiden som betongen härdar, under den tid som betongen brinner och får sina hållfasthetsegenskaper. Betongens blandning har stor inverkan på sprickmängd och dess storlek. En bra blandad betong och rätt mängd armering minimerar sprickstorleken.

Undersökningar gjordes i bergrum och prover i stålformar som konstruerades för att kunna se om betongen beter sig annorlunda under härdning i formarna jämfört med betongen som sitter på väggarna i gruvan. Resultaten som kom fram i denna rapport visar att betongen som används har väldigt goda egenskaper som drag- och tryckhållfasthet, vilket ger betongen minimalt med krympsprickor. Endas en spricka hittades i betongen i en av de formar som gjordes på plats i gruvan. Inga sprickor hittades i betongen i bergrummen som beror på krympning, utan alla sprickor uppkom genom seismik.

Nyckelord: LKAB, Kiruna, krympsprickor, sprutbetong,

Abstract

This master's thesis was conducted during the spring of 2019 at Bergsskolan, Filipstad in conjunction with LKAB Berg & Betong, Kiruna.

All types of rock constructions and mining facilities require reinforcements by rock bolts and concrete to keep the personnel safe. The mining for iron ore is a 24 hour a day activity. The strength of the rock is deteriorated in both tensile and compressive strength. When the wall rock is deteriorated shotcrete is needed to help the rock from losing its characteristics.

The purpose of this thesis is to investigate shrinkage in the shotcrete that leads to cracking. Shrinkage in the shotcrete occurs during the curing process. That's when the shotcrete acquires its characteristics such as tensile and compressive strength. The mixture of the shotcrete is of great importance with regards to the quantity of cracks where a greater fiber content contributes to a reduction in the number of cracks.

Surveys were made in both cawalls and steel molds to see if the shrinkage is different compared to each other. Our results shows that the shotcrete in the mine was of sufficient quality, thanks to the good mix of fiber in the shotcrete. Only one crack caused by shrinkage was found in one of the steel molds, whereas no cracks were found in the rock cavities.

Keywords: LKAB, Kiruna, shrinkage, shotcrete

Förord

Detta är en avslutande del på vår tvååriga utbildning på Bergsskolan i Filipstad inom berg och anläggningsteknik. Allt arbete har utförts i Kiruna på LKAB Berg och betong, de har även finansierat vårt boende och arbete som utfördes under ett antal veckor på plats i Kiruna.

Vi vill tacka våra handledare Bengt-Göran Mikko och Benjamin Krutrök som har hjälpt och handlett oss under hela vårt arbete i Kiruna och även efteråt med stöd av information. Vi vill även tacka Alf Westerlund vid Bergsskolan i Filipstad för all hjälp med information när det behövts och våra familjer som stöttat oss under denna tid då rapporten skrivits.

Maj 2019

Patricia Löf & Erik Ling

Innehållsförteckning

1 Inledning.....	6
1.1 Problembeskrivning.....	6
1.2 syfte och mål	6
1.3 Avgränsningar.....	6
2 Bakgrund	7
2.1 LKAB:s verksamhet och historik	8
3. Bergförstärkning.....	9
3.1 Sprutbetong.....	9
3.1.1 Torrsprutning.....	9
3.1.2 Våtsprutning	9
3.2 Bultning	10
4. Betong	10
4.1 Ballast	10
4.2 Vatten	11
4.3Tillsatsmedel.....	11
4.3.1 Accelerator	11
4.3.2 Retarder.....	11
4.3.3 Luftporbildare.....	11
4.5 Cement	12
5 Armering.....	12
5.1 Armeringens historia	13
5.2 Fiberarmerad sprutbetong.....	13
6. Sprickbildning	14
6.1 Krympsprickor	14
6.2 Fri krympning.....	14
6.3 Fasthållen Krympning.....	14
6.4 Seismik i berg.....	15
6.5 Vattenhärdning.....	15
7 Material	15
Metodik	16
8 Undersökning av bergrum	16
8.1Undersökning av betong i formar	16
9 Resultat.....	18
10 Diskussion	20
11 Slutsats	21

12 Referenser 22
13 Bilagor..... 23

1 Inledning

För att LKAB-gruvan i Kiruna ska kunna underhålla sin drift och tillföra säkerhet för alla anställda under jord måste bergväggar och tak förstärkas med armerad sprutbetong. Att bergväggar och tak är förstärkta under jord är en självklarhet för att gruvsdriften ska kunna rulla på kontinuerligt och kunna fortskrida djupare ner och bryta mer malm.

Fiberarmerad sprutbetong är en av de viktigaste delarna för att hela gruvsdriften ska fungera, då måste även betongen testas i olika förhållanden för att se hur säker den är och om krympsprickor uppkommer i de olika förhållandena.

1.1 Problembeskrivning

LKAB Berg och betong i Kiruna undrade om de hade krympsprickor i sin sprutbetong under jord, LKAB ville även testa hur skillnaden blir när betongen vatten-härdats och när den får torka i det fria utan extra fukt. Även skulle skillnaden undersökas mellan sprutad betong och gjuten betong i fasta formar och inte bara i gruvan som förstärkning.

1.2 syfte och mål

Syftet med denna rapport är att hitta krympsprickor i sprutbetong som är sprutad i olika berggrum under jord i LKAB-gruvan i Kiruna.

- Målet är att hitta olika krympsprickor i den sprutade betongen som sitter på väggarna i LKAB-gruvan.
- Utforma formar som fylls med sprutbetong och gjuten betong, som därefter får härda i olika förhållanden.

Formarna ska undersökas efter krympsprickor efter 24 timmars härdning.

1.3 Avgränsningar

Examensarbete omfattar totalt 15hp, därav görs avgränsningar för att det inte ska bli ett för stort och omfattande arbete. De krympsprickor som kommer att besiktas och undersökas är bara de som går att se med ögat. Det blir för omfattande om utrustning ska användas.

Undersökningar kommer bara att göras på den sprutbetong som LKAB Berg och betong i Kirunagruvan använder sig av ingen av de andra gruvorna i LKABs verksamhet.

2 Bakgrund

Över hela världen används sprutbetong som förstärkning, betongen sprutas på väggar och tak för att det inte ska rasa in. Sprutbetong används för ge berget en bättre drag och tryckhållfasthet. Kravet på förstärkning blir stort när tusentals kubik med material sprängs och fraktas bort ur berget. Det är handlar om att förstärka berget för att ge de bättre egenskaper och öka säkerheten för människor.

Sprutbetong är betong (som innehåller cement, ballast, vatten och tillsatsmedel) som med hjälp av tryckluft sprutas upp på väggar och tak i gruvor. Den kan vara båda armerad eller icke armerad, beroende på vilket användningsområde det gäller. Armering av sprutbetong sker med fiberarmering som blandas redan i fabriken, det minskar arbetsmomenten för de som arbetar i gruvan. De olika armerings sorterna som finns är glas, plast eller stålfiber.

Fiberarmerad sprutbetong används idag inom gruvindustrin i Sverige framförallt. Fiberarmering har bra dynamiska egenskaper vilket ger betongen goda möjligheter att anpassa sig och flytta sig med berget om det rör på sig. De dynamiska egenskaperna minskar också risken för sprickor i betongen. Desto mer sprickor det blir i betongen desto sämre blir hållfasthetsegenskaperna och risken för brott i betongen ökar. De minsta sprickorna som bildas är krympsprickor, de sprickorna bildas under det första dygnet då betongen härdar.

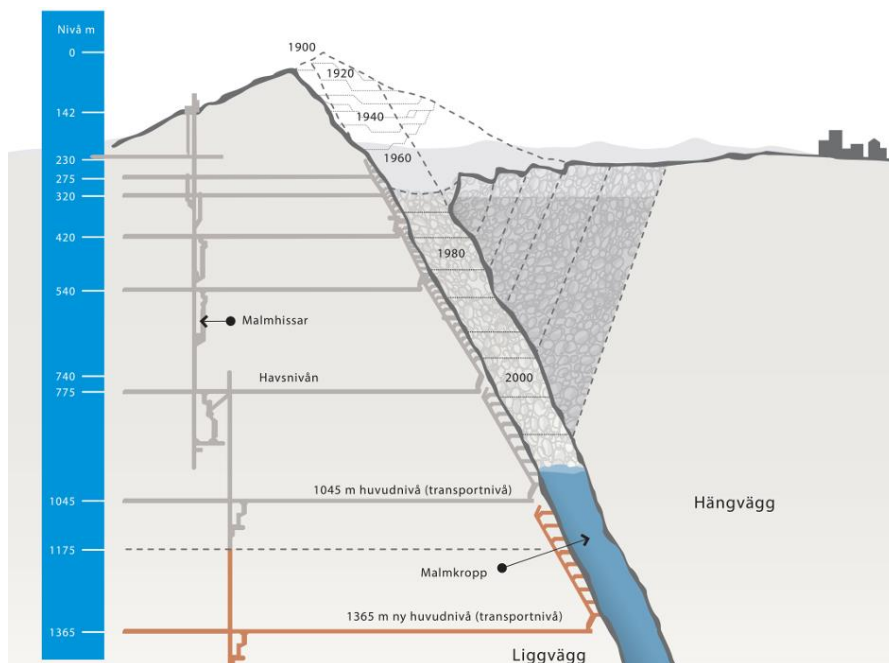
2.1 LKAB:s verksamhet och historik

År 1890 startades bolaget Luossavaara -Kiirunavaara AB (LKAB). Det året var första gången då gruvan kom i drift, dock har första malmförekomsten redan hittats år 1642 men ingen brytning har skett då på grund av brist i kunskap och dåliga resurser för att bryta malm.

LKAB finns i Luleå, Malmberget, Svappavaara, Kiruna och Narvik. I Luleå och Narvik finns hamnarna som exporterar ut materialet till de olika köparna runt om i världen. De olika verksamheterna LKAB har är Svappavaara som är ett dagbrott och i Malmberget och Kiruna är det underjordsgruvor som bedrivs. Underjordsgruvan i Kiruna är världens största och mest moderna underjordsgruva som finns just nu. LKAB:s gruvdrift stannar i princip aldrig och är i drift dygnet runt.

Koncernen omsatte cirka 26 miljarder kronor (år 2018) och har cirka 4 200 anställda i 12 olika länder. De fyndigheter som bryts ut är järnmalm och de är hematit och magnetit som är mineralerna, i Kiruna bryts bara magnetit jämfört med i Malmberget där de bryts hematit och magnetit.

Brytningsmetoden som används är skivrasbrytning, brytningsmetoden bygger på att bergrum ska framkomma genom borrning och sprängning. Just nu är Kirunagruvan nere på 1365 meter under jord, se figur 1. Då gruvan expanderar hela tiden och nya malmkroppar hittats under nuvarande Kiruna så måste även hela staden förflyttas för att gruvdriften ska kunna fortsätta (www.LKAB.com).



Figur 1, LKAB i Kiruna idag <https://www.lkab.com/sv/om-lkab/fran-gruva-till-hamn/bryta/>

3. Bergförstärkning

Bergförstärkning används för att förstärka upp det berget som blivit utsatt för sprängning eller borring, även försäkra om säkerheten för personalen under jord. Finns det ingen förstärkning kan berg falla ner och produktionen stannar upp och det blir direkt en ekonomisk förlust.

I Kiruna förstärks berget för det mesta med armerad sprutbetong, vid behov bultas även berget där det behövs. I vissa fall när berget är i riktigt dåligt förhållande används även nätarmering för att skydda upp (www.LKAB.com).

3.1 Sprutbetong

För att förstärka berget sprutas en betongmassa mot ett underlag oftast väggar och tak med hjälp av en sprutrigg. Det är en lastbil med en kran och hytt som används för att spruta ut betongen med hjälp av tryckluft se bilaga 1. När tryckluft används så komprimeras betongen genom den höga hastigheten upp till ca 100 m/s som resulterar i en högvärdig slutprodukt. Sprutbetong är en funktionell metod att använda vid mer komplicerade ytor som i skrovliga berggrum eller liknande. Den har även bra vidhäftning då den sprutas mot väggen därmed fastnar direkt och härdningsprocessen börjar, inom en timme kan sprutbetongen kännas fast mot väggytan.

För att få en livslängd som normalt krävs i berggrum och tunnlar sprutas ett 50 mm skikt över hela ytan som förstärks. Tjockleken kan variera beroende på användningsområde från 20mm upp till 100mm.

Det finns två olika sätt att spruta betong, torrsprutning är en av de äldsta metoderna eller så kan våtsprutning användas som är ett modernare sätt att spruta betong på. Sprutbetong kan utföras som armerad, oarmerad och fiberarmerad. (Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad)

3.1.1 Torrsprutning

Vid torrsprutning sprutas en torr eller en nästan torr massa av betong via en slang vidare till sprutmunstycket där vätska tillsätts. För att få en förstärkning som är stark och homogen så måste rätt vattenmängd tillsättas, denna typ är lämplig för driffförstärkningar. Nackdelar med torrsprutning är att det dammar mycket och ger en dålig arbetsmiljö för de som jobbar i till exempel en tunnel. Idag används oftast denna metod vid underhållsarbeten eller där vart geometrin i tunnel eller berggrum är sämre utformad. (Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad)

3.1.2 Våtsprutning

När våtsprutning appliceras så är blandningen av betong och vatten redan färdig och det pumpas genom en slang till ett munstycke där tryckluft tillsätts. Denna metod har högre kapacitet än torrsprutning och tjockare skikt kan också appliceras om det behövs, metoden kan bli likvärdig till torrsprutning då man i våtsprutningen bara behöver tillsätta tillsatsmedel och då få samma kvalitet som i torrsprutning. Vid våtsprutning är arbetsmiljön bättre än torrsprutning då det inte dammar. Denna metod är den som används i LKAB då den är mest effektiv och arbetet kan därmed effektiviseras. (Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad)

3.2 Bultning

Bultning kan användas för att förstärka gruvor, tunnlar och berggrum. Metoden är relativt billig och är enkel att utföra, då samma maskin används för borrhning och bultning. Det finns tre olika sorter av bergbultar som är ingjutna, förspända och friktionsbultar.

I Kiruna används kirunabulten som är en förspänd standardbult. (Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad)

4. Betong

Betong är ett av de vanligaste materialen att bygga hus, dammar och olika konstruktioner med. Det finns olika sorter av betong som normalhållfasthets betong, höghållfast betong, spännbetong, lättballast betong, vattentät betong, självkompakterande betong och fiberarmerad betong. Det som är gemensamt för alla dessa är att de har fyra beståndsdelar som är ballast, cement, vatten och tillsatsmedel. Alla dessa delar har olika funktioner och egenskaper som beror på vad betongen ska användas till. (Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad)

4.1 Ballast

Betong tillverkades från början med naturgrus som ballast istället för krossat bergmaterial. Naturgrus är fördelaktigt att använda på grund av de goda egenskaperna. Runda fina korn som är fasta och homogena jämfört med krossgrus som blir kantigt och ofta med sprickor i sig från krossning som medför sämre hårdhet och täthet. Idag är det krossat bergmaterial som används, det är allt ifrån sand, grus, singel och makadam.

Det finns många olika bergmaterial men de två som är mest lämpad för betongtillverkning är Gnejs och Granit som båda är hårda och slitstarka bergarter. För att få en bra betong så är det viktigt att få en bra blandning med två eller flera olika kornstorlekar. Därför så delas ballasten in i olika fraktioner som ses i tabell 1. Från filler som är den minsta till grus som är den största fraktionen. (Thåren Å.T 1993, I fiberbetongens värld)

Sort	Diameter (mm)
Filler	0-0,125
Sand	0-4
Grus	0-8
Sten	4-30

Tabell 1 Storleksuppdelning av Ballast

4.2 Vatten

Vattnet som används i betongblandningen får inte vara smutsigt, så rent dricksvatten är det som används vid tillverkningen av betong. Salter bör helt och hållet undvikas även humusämnen ska undvikas för det påverkar betongens egenskaper negativt. (www.saca.se)

4.3 Tillsatsmedel

Tillsatsmedel används för att förbättra betongens egenskaper både i färskt och härdat tillstånd för att den inte ska stelna eller vara för lös när den väl ska användas. Det finns olika typer av tillsatsmedel men de som är de vanligaste som används inom betongtillverkning är luftporbildare, acceleratorer och retarder.

Det som är lite speciellt för sprutbetong är att den innehåller stor mängd av accelererande tillsatsmedel jämfört med mängden retarder. Retardern används för att betongen inte skall härda och brinna fast i betong-bilen utan måste hållas flytande i upp till några timmar innan betongen har blivit sprutad på väggen.

Så fort betongen kommer i kontakt med väggarna och framför allt taket måste den ha väldigt god vidhäftningsförmåga och börja härda direkt, det är därför det tillsätts accelerator i samma stund som tryckluften. Den tillsätts direkt i munstycket som sitter längst ut på bommen på den rigg som sprutar betongen. (www.saca.se)

4.3.1 Accelerator

Accelerator tillsätts i en betongblandning för att sänka tiden mellan det att betongen är plastisk tills den blivit styv, samtidigt som den påskyndar hållfasthetens tillväxt i betongen. Acceleratorn påskyndar också den kemiska reaktionen mellan cementen och blandvatten. Detta leder till ett snabbare tillstyvnade av betongen. (www.saca.se)

4.3.2 Retarder

Retarder är ett tillsatsmedel som blandas i betongen för att minska reaktionshastigheten mellan vatten och cementen, på så sätt så kommer betongen att vara möjlig att arbeta med under en längre tid än om det inte tillsätts retarder. Det är nödvändigt att tillsätta retarder om betongen tillverkas på fabrik och måste hållas plastisk under transporten tills att den ska sprutas. (www.saca.se)

4.3.3 Luftporbildare

Luftporbildare tillsätts till betongen för att ge den jämt fördelade luftporer med en diameter på mindre än 300 micron. Dessa luftporer håller sig stabila under och efter blandningen och gör att betongen blir mer lätthanterlig när den är färsk, den fungerar som ett kullager för betongen om blandningen har en låg cementhalt eller ett lågt vattencementtal.

I den hårdnade betongen så fungerar dessa luftporer som expansionskärl då vattnet i betongen kan frysa och förbättrar på så sätt betongens frostbenägenhet. (www.saca.se)

4.5 Cement

Cement består av finmalen kalksten (CaCO_3) och lermaterial som blandas samman i ugnar som skall hålla 1400 °C. Då bildas cement-klinker som sedan mals vartefter slagg, gips och andra ämnen tillsätts för att få de önskade egenskaperna hos cementen. (www.saca.se)

5 Armering

Betong armeras för att draghållfastheten ska öka, den har bara en 1/10 av kraften som betongens tryckhållfasthet har. Det är ofta draghållfastheten som blir en bristande faktor i konstruktioner med betong.

Idag finns det flera olika alternativ till armering i betong, de vanligaste är stålarmring, eller fiberarmring av olika slag. De vanligaste armering- metoderna är armeringsnät eller fiberarmring. Fiberarmring kan variera från stål, plast eller glasfiber. Den populäraste armeringen i världen är stålfiberarmring. Stålfiber är väldigt effektiv på grund av sina egenskaper att hålla ihop betongen på ett sätt som armeringsnäten inte klarar av.

Fiberarmring är mycket mer effektiv än betong med armeringsjärn på grund av helt andra dynamiska egenskaper och "flyter med" betongen och minskar avsevärt risken för krympsprickor. Armeringsjärnet är alldeles för odynamiskt för att följa med betongen när den krymper och då är risken betydligt större att krympsprickor bildas. Det är en av de största anledningarna till att fiberarmring används till i princip all förstärkning i LKAB:s gruva i Kiruna i dagsläget. Fiberarmring som används i förstärkningsbetongen kan se ut på olika vis men den som ses i figur 2 är den armering som LKAB berg och betong använder i förstärkningsbetongen.

Armeringsjärn blir mindre dynamiska än stålfiber och det ökar risken att betongen spricker. Fiberarmringen förstärker ytan på ett annat sätt som också visat sig vara effektivare mot sprickor, fiberarmerad betong är lättare att arbeta med. Stålfibern går att blanda i det redan vid blandning av betong och används ofta inom förstärkning av tak och väggar vid tunnel och gruvdrift.

De största skillnaderna mellan armeringsjärn och fiberarmring är att betong med armeringsjärn tar bort 20% av sprickorna medan fiberarmerad betong som tar bort cirka 80% av sprickorna vid tester gjorda med samma förutsättningar och under lika lång tid. (Thorsén, Å.T 1993, I fiberbetongens värld)



Figur 2. Fiberarmering LKAB Dramix 3D 65/35 BG,

5.1 Armeringens historia

Den första armeringen som setts i historien var för ca 4000 år sedan då armerades tegel med hjälp av vass. Lite närmare dagens armering kommer romarna med sin armering av byggnader som kan ses än idag bland annat i Italien. Men den moderna armeringen av konstruktioner med stålarmring tog de första patentet år 1854. Den franske trädgårdsmästaren och uppfinnaren Joseph Monier tog år 1867 patent på ett sätt att förstärka betongen i blomkrukor med ståltrådsnät. Monier tog också patent på att med tunna stålstänger armera tak, balkar och andra bärande konstruktioner. (Thorsén, Å.T 1993, I fiberbetongens värld)

5.2 Fiberarmerad sprutbetong

Fiberarmerad sprutbetong är den mest använda metoden i dagens samhälle då den bara kräver en arbetsoperation för att både betongen och armeringen ska hamna på bergväggen. Denna metod fungerar bäst med våtsprutning. Desto mer fiberarmering de finns i sprutbetongen ger desto mindre mängd sprickor uppkommer, det beror på att armeringen ger betongen en bättre draghållfasthet, vilket ger fler fast mindre sprickor i betongen som blir betydligt tunnare. Det finns en sprickformel som visar att ju mer fiberarmering som blandas i betongen desto mindre blir sprickornas bredd. Om det går från 0-115 kg/m₃ minskar sprickbredden från 1mm till 5/100 millimeter. (Thorsén, Å.T 1993, I fiberbetongens värld)

Fördelar med fiberarmering i sprutbetong är:

- Hög hållfasthet
- Seghet
- God vidhäftning mellan fibrer och cementpastan
- utrymmesbesparande på arbetsplatsen då allting blandas ihop

6. Sprickbildning

Sprickor i berg är oundvikligt, de bildas av spänningar som finns i berget eller av att berget bryts med hjälp av sprängningar och dess spänningar överskrids. Det viktigaste för gruvors framdrift och säkerheten för de som jobbar är att kartera alla sprickor i berget. Sprickor är den största anledningen till bergras. (www.LKAB.com)

6.1 Krympsprickor

Krympsprickor bildas under tiden betongen härdat, det är under den tiden som betongen stelnar och får sina egenskaper som dess drag och tryckhållfasthet. Dessa sprickor kan vara svåra att se då sprickorna bara är några mikrometer breda.

Det är möjligt att se sprickorna med blotta ögat om de är tillräckligt stora. Är det för små så behövs mikroskopisk utrustning för att lokalisera var sprickorna finns. Betongen krymper cirka 0,5 millimeter per meter, det betyder att en stor area ska härda för att det ska gå att se sprickorna utan hjälpmedel. Sprutbetong har olika stadier under själva härdningen och de är sättsprickor, vattenavgångssprickor, bindetidssprickor och separationsprickor. Det finns ytterligare ett steg, det är tidiga krympsprickor som även kallas temperatursprickor, dessa bildas 8–24 timmar efter att betongen sprutas.

Dessa sprickor bildas på grund av uttorkning av betongen. Det beror på för låg vattenhalt i betongen. Sprickorna bildas under det första dygnet på grund av temperaturutvecklingen i betongen som medför en alltför stor skillnad mellan betongens inre och yttre temperatur. Vid ett grundare djup så är temperaturen lägre och luftfuktigheten högre än på större djup där temperaturen stiger, luftfuktigheten är inte beroende på temperaturen. När betongen torkar ut så krymper den samtidigt. Krympningens tid kan variera beroende på betongens egenskaper, vatteninnehåll, och dimensioner av olika tillsatsmedel. Omgivningens temperatur och relativa fuktighet kan även den påverka krympningen. Det finns två sorters krympning, fastlås och fri krympning.

6.2 Fri krympning

När sprutbetong härdat och krymper så minskar dess volym. När betongen krymper utan någon fast del/yta att krympa emot så kan fri krympning ske.

Det innebär att betongen får krympa ostört, vilket är att det inte blir några inre spänningar och draghållfasthet inte överskrids. Detta medför att betongen inte har något motstånd under krympningen och mängden sprickor blir mycket låg.

6.3 Fasthållen Krympning

Fasthållen krympning innebär att betongen har något att krympa emot. Det ger en helt annan utveckling av sprickor jämfört med fri krympning. De flesta betongkonstruktioner med fast krympning är ofta en av flera delar i en konstruktion eller ett större projekt.

De olika delarna är fastgjutna/förankrade i varandra och då har betongen alltid något att krympa emot. Så då när betongen väl krymper så kommer den att bilda dragspänningar i konstruktionen och när dessa spänningar överstiger betongens draghållfasthet så blir följden

att konstruktionen spricker. (Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad)

6.4 Seismik i berg

Seismik i berg innebär att bergets naturliga spänningar överskrids och seismik uppstår. Seismik är från grekiskans seismos som betyder skakning. Detta sker när storskalig brytning utförts i berget, då uppkommer skakningar och ibland sättningar, dessa kan upplevas som skalv i berggrunden och kan kännas som en dov smäll i marken. (www.ne.se/seismik)

Befolkningen som bor i närområdet kring gruvan kan känna av skakningarna som inträffar. De spänningar som är kraftigast är spänningar som går vågrätt, de som rör sig i sidled. Även lodräta sättningar sker men dessa är inte lika kraftiga som de vågräta. LKAB Kiruna har mellan 100-1000 seismiska aktiviteter per dygn men det är inte alls många som har kraft nog att kännas av i marken. (www.lkab.com)

6.5 Vattenhärdning

Vattenhärdning gör att betongen får den vattenmättnadsgrad som gör att den inte spricker. Mängden vatten efter gjutning/sprutning är avgörande om sprickor eller inte uppkommer. För lite vatten leder till uttorkning och sprickor bildas. Denna metod är en av de mest effektiva härdningsmetoden. (Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad (Bergförstärkning)).

7 Material

För att genomföra alla undersökningar behövdes olika material och redskap. För att kunna undersöka bergväggar och tak behövdes ett sax-flak. Det är en lastbil med ett påmonterat flak med räcken på som är flyttbar i sidled ca 60cm i sidled på lastbilen, det kan också höjas ca 2 meter. För att använda sax-flaket måste en maskinförare vara närvarande vid användning av fordonet. Då det är tidskrävande och svårt att flytta en lastbil i en gruva som är aktiv dygnet runt så valdes undersökningar att bara göras på ett djup. Ingen drift fick stoppas på grund av undersökningarna.

Till laborationsförsöken användes fyra likadana cirkulära stål-formar som gjordes på plats i LKAB, Dessa stålformar skruvades sedan fast i varsin träskiva för att ha ett underlag för betongen. Formarna fylldes med gjuten betong och sprutbetong som var av samma blandning. För att fylla formarna med sprutbetong behövdes en sprutrigg med tillhörande tombolalastbil med betong. Två av formarna fylldes med sprutad betong och två av dem fylldes med hjälp av betong i hink, för att få en betong som var gjuten istället för en sprutad.

Betongen som användes för de olika metoderna är från samma blandning, (se tabell 2,) receptet ändrades inte och är densamma som LKAB sprutar på bergväggarna.

Del	Vikt (kg)
Ballast 0/4	1400
Ballast 4/8	200
Bascement	490
Vatten	200
Stålfiber	40
Flytmedel	1,47
Luftporbildare	3,43
Retarder	1,6
Alkalifri accelerator	34,3

Tabell 2 Betongrecept

Metodik

8 Undersökning av bergrum

Undersökningar för sprick-karteringen gjordes under jord i olika orter i gruvan utifrån vilka förhållanden som rådde. Det med tanke på temperatur och luftfuktighet. På grundare djup så är temperaturen lägre och något mindre luftfuktighet, på större djup så blir temperaturen högre och luftfuktigheten kan ändras. Luftfuktigheten beror på huruvida ventilationen i den delen av gruvan är igång. Är det en del i gruvan som inte är aktiv (att ingen brytning sker) så är inte ventilationen påslagen i den delen av gruvan, därav fuktigare miljö.

Sprickorna som undersöktes skiljer sig från sprickor som bildas på grund av seismik i berget. Dessa krymp-sprickor är 0,1–1,0mm i bredd och kan bli några decimeter långa till skillnad från seismiska sprickor som kan vara 0,5-3cm breda och ett antal meter långa.

8.1 Undersökning av betong i formar

Fyra cirkulära formar av stål byggdes med måtten 600 mm för ytterring och 300 mm för innering, se bilaga 3. Två av formarna fylldes med sprutbetong och de två andra med gjuten betong, en av varder sort vattenhärdades. För att vatten-härda formarna blöttes en filtduk som lades på formen, ovanpå filt-duken lades en plast för att fukten skulle hållas inne och inte avdunsta. De två andra formarna fick ligga öppet utan någon duk eller plast över sig. Dessa formar fick sedan ligga i gruvmiljö under jord i 24 timmar innan formarna lossades och undersökning av sprickor utfördes.



Figur 3. Prov 1, sprutbetong ej vattenhärdad.



Figur 4. Prov 2, Sprutbetong vattenhärdad.



Figur 5. Prov 3, Gjuten betong ej vattenhärdad.



Figur 6. Prov 4, Gjuten betong vattenhärdad.

9 Resultat

När undersökningarna var gjorda så konstaterades att inga sprickor hittats som beror på betongens härdning, inte som skett under de 24 timmar från det att sprutningen var gjord. Betongen har fått härda i ett dygn och sprickor har bildats med inte i den storleken så att det går att se dem med blotta ögat. Krympsprickor eller temperatursprickor ska vara synliga efter 24 timmar om det har bildats några. Dessa är väldigt små och de kan vara så små att de inte syns med blotta ögat. Detta gjorde att undersökningarna blev svårare att utföra än väntat.

Sprickor hittades längs bergväggen men det är sådana som beror på seismisk aktivitet i berget och inte på betongens egen krympning. Dessa sprickor är större både i bredd och framförallt längd jämfört med de små krymp-sprickorna. De sprickor som bildas på grund av den seismiska aktiviteten i berget kan ta månader upp till år innan de bildats, det kan redan vara sprickor i berget innan betongen appliceras. När dessa sprickor väl bildats så har betongen härdat och förlorat större delen av sin dynamiska förmåga. Betongen är för hård för att följa med berget och draghållfastheten i betongen överskrids och det gör att betongen spricker.

De fyra cirkulära formarna som fylldes med sprutbetong respektive gjuten betong fick härda i 24 timmar, en spricka hittades i den formen som var av gjuten betong som hade fått torka i naturlig omgivning utan vattenhärdning. (Se figur 7.) I de andra formarna framkom inga krympsprickor som kunde ses med blotta ögat, de övriga sprickor som hade uppkommit var av våld då stålringarna var svåra att få bort.



Figur 7 Krymspricka i gjuten betong icke vattenhårdad.

10 Diskussion

Målet i denna rapport var att hitta krympsprickor i betong i olika förhållanden, betongblandningen var alltid densamma i alla tester. Förhoppningarna var att hitta krympsprickor i både bergrum och i de formar som gjordes. Men de sprickor som hittades var endast en och det var i en av de fyra formarna.

Inga sprickor hittades när undersökningarna i gruvan gjordes, sprickorna var för små för att se med blotta ögat. Undersökningarna gjordes på "insidan" av betongen, möjligtvis så kan det ha spruckit på "utsidan"; den sidan som är mot berget och inte den sidan av betongen som syns från golvet i gruvan. Sprickor i betongen finns det helt säkert men den yttre sidan av betongen blir svårare att undersöka utan hjälp av instrument.

En spricka hittades i den formen som var gjuten och icke vattenhärdad, detta resultat trodde våra handledare att vi skulle få. Den formen som sprickan hittades i var den som var gjuten och icke vattenhärdad vilket ger de sämsta förutsättningarna för betongen att hålla ihop. De andra formarna hade bättre förutsättningar eftersom två av dem var sprutad betong och dessa blir kompakterad av det trycket som bildas när den sprutas så risken för sprickor minskar. Den andra formen med gjuten betong var vattenhärdad. Det är under det första dygnet som betongen behöver vatten för att inte få dessa krympsprickor, vattenhärdningen gör så att betongen kan behålla sin vattenhalt som krävs för att inte det ska spricka.

Det som är intressant i det här fallet är att betongen spricker i formarna som gjordes men inte när den är sprutad på väggarna i gruvan. Det som kan vara den stora orsaken är att det är ingen fasthållen krympning i betongen när den sitter på väggarna i gruvan. Den får krympa fritt och med hjälp av armering som finns i betongen så blir krympningen så jämn och fin så inga sprickor bildas som blir synliga med ögat. Sprickorna i formarna kan vara lättare att förstå för att dessa formar gör att betongen får en fasthållen krympning eftersom innerringen i stål inte kommer att ge vika för betongen. Under krympningen så får betongen en mindre volym än innan härdningen och det är då stålringen är en broms för detta och betongen spricker lättare och sprickorna blir större så de går att se med blotta ögat.

11 Slutsats

Målet med denna rapport var att undersöka krympsprickor i betong i olika förhållanden nere i Kirunagruvan.

Det som kan ses i denna rapport är att LKAB har en utmärkt blandning av sprutbetong, där inga krympsprickor kan ses med ögonen när bergväggar undersöks. Det beror på den välbalanserade blandningen och mängden fiberarmering som används vid tillverkningen av sprutbetongen.

Förslag till vidare studier kan vara att använda andra instrument som till exempel ultraljudsmätare som gör det lite enklare att se sprickorna med tanke på den minimala storleken som sprickorna har.

12 Referenser

<https://www.lkab.com/sv/om-lkab/lkab-i-korthet/var-historia/>

Uppdaterad (2017-11-10)

<https://www.ne.se/uppslagsverk/encyklopedi/l%C3%A5ng/seismik>

H.N. Al-Sadi, *Seismic Exploration* (1980);

B. Sjögren, *Shallow Refraction Seismics* (1984)

<https://www.lkab.com/sv/om-lkab/fran-gruva-till-hamn/bryta/>

Uppdaterad (2017-12-14)

Thorsén, Å.T 1993, I fiberbetongens värld.

Ulf Lindblom, 2010, Bergbyggnad (Bergförstärkning)

<http://www.saca.se/admix.php> (tillsatsmedel)

<https://www.lkab.com/sv/hallbarhet/miljo/seismiska-handelser/informationsflodet-steg-for-steg/> Seismik uppdaterad 2018-03-16

13 Bilagor



Bilaga 1 *Sprutrigg och dess utrustning.*



Bilaga 2 *Montering av stålformar.*