

06075



Grouting Prediction Systems for Hard Rock

- based on active design

Thomas Dalmalm

Licentiate Thesis
Division of Soil and Rock Mechanics
Royal Institute of Technology

Stockholm, Sweden 2001

Sammanfattning

Föreliggande avhandling behandlar frågeställningar relaterade till prediktion och utförande av injekteringsarbeten i hårt uppsprucket berg. Tyngdpunkten i avhandlingen är koncentrerad till att predicera den injekterade volymen och tiden för detta.

För att prediktionen av den injekterade volymen och tiden skall vara relevant är det ett antal beroenden som måste beaktas, såsom blandningsproceduren, sprickornas egenskaper, injekteringskonceptet och utförandet av injekteringsarbetena. Denna avhandling belyser delar av dessa som är av särskild vikt för prediktion av injekteringsvolym och injekteringstid.

Filtrering och separation av injekteringsbruk kan påverka den injekterade volymen och tiden. Filtrering kan ge upphov till blockering av sprickor, vilket kan förhindrar bruksspridning till andra sprickor. Separation av injekteringsbruk kan resultera i delvis ofyllda injekteringshål och sprickor, vilket resulterar i öppna kvarstående vattenvägar efter slutförd injektering.

Injekteringsutrustningen och utförandet av injekteringsblandningen har stor inverkan på injekteringsresultatet. Olika blandningsförfaranden kan öka injekteringsbrukets inträngningsegenskaper med upp till 100 %.

För att kunna predicera injektering måste parametrar relaterade till injektering användas, vilket inte alltid tidigare varit fallet. Bergmekaniska parametrar har ibland och då ofta med dåliga resultat använts i försök att predicera injektering.

Den injekterade volymen är starkt korrelerad till inträngningslängden i bergmassan. Det finns ett antal orsaker till att denna inträngningslängd på olika sätt kan komma att reduceras, vilket då måste beaktas i framtagna prediktionsmodeller. Fyra orsaker som i denna avhandling beskrivs och beaktats är: brukets skjuvhållfasthet, den möjliga spricklängden, filtrering av bruk och olika stopp kriterier.

Det har vidare visats att både den injekterade volymen och den injekterade tiden påverkar fyllnaden av ett spricksystem i en bergmassa. I en bergmassa med blandat grova och fina sprickor, kommer de grova att fyllas först och de fina därefter. Höga krav på tätningseffektivitet är ofta det samma som att även de fina sprickorna måste tätas. Tiden för tätning är därför särskilt viktig att beakta då täthetskraven är höga. En modell för injekteringstid har därför indikerats i denna avhandling.

Bergmassan är deterministisk, dvs., bergmassans egenskaper i alla punkter kan beskrivas och bestämmas, vilket i teorin kan användas för att bygga prediktionsmodeller. Att däremot bygga en praktiskt användbar prediktionsmodell, som baseras på att bergmassans alla egenskaper bestäms i alla punkter är inte möjligt. Istället föreslås i denna avhandling att ett sannolikhetsbaserat synsätt avseende bergmassan och prediktionsmodeller skall tillämpas. Ingående parametrar i prediktionsmodeller måste dessutom vara oberoende av varandra.

En kombination av Markov kedja och Bayesiansk statistik har därför föreslagits som en grund för de framtagna prediktionsmodellerna, vilket kommer att utvecklas vidare i kommande arbete.

Table of contents

SAMMANFATTNING

SUMMARY

1	INTRODUCTION	1
1.1	BACKGROUND	1
1.2	OBJECTIVES AND DISPOSITION OF WORK	2
1.3	LIMITATIONS	3
2	GENERAL GROUTING AND SEALING THEORIES	4
2.1	THE SEALING EFFECT	4
2.1.1	<i>General</i>	4
2.1.2	<i>Theory</i>	4
2.1.3	<i>Sealing requirements / calculation examples</i>	6
2.2	GEOLOGY AND GEO-HYDRAULIC PROPERTIES WHICH AFFECT THE SEALING RESULT	11
2.2.1	<i>Rock mass conductivity</i>	11
2.2.2	<i>Flow in a separate joint plane</i>	15
2.2.3	<i>Water flow and sealing effect</i>	17
2.3	PROPERTIES OF A CEMENT BASED GROUT WHICH AFFECTS THE SEALING	19
2.3.1	<i>Description of grout</i>	19
2.3.2	<i>Properties of cement based suspensions</i>	23
2.4	PENETRATION AND FILLING OF JOINTS	30
2.4.1	<i>Which joints can be penetrated?</i>	30
2.4.2	<i>Upper limit for sealing efficiency by cement grouting</i>	32
2.4.3	<i>Thickness requirement of the grouted zone</i>	32
2.4.4	<i>How is the joint filled with grout?</i>	33
2.4.5	<i>The possibility to fill out a joint with grains</i>	39
2.5	GROUT PREDICTION MODELS	40
2.5.1	<i>Background</i>	40
2.5.2	<i>Grout volume models</i>	42
2.6	CONCLUSIONS	47

3	DESIGN OF GROUT WORKS	48
3.1	GENERAL	48
3.2	ROCK AND GROUT PRE INVESTIGATIONS	48
3.2.1	<i>General</i>	48
3.2.2	<i>Hydraulic tests</i>	53
3.2.3	<i>Investigation with a borehole camera</i>	54
3.2.4	<i>Grout field investigation</i>	55
3.3	GROUT PROCEDURE	56
3.3.1	<i>General</i>	56
3.3.2	<i>Hole cleaning</i>	57
3.3.3	<i>Grout order</i>	57
3.3.4	<i>Grout mixing</i>	58
3.3.5	<i>Grout practice today</i>	62
3.4	GEOMETRY	63
3.5	VOLUME, FLOW, PRESSURE AND GIN CRITERIA	66
3.6	SEALING EFFECT MEASUREMENTS	67
4	DEVELOPMENT OF MODELS FOR GROUTING PREDICTION	69
4.1	SYSTEMATISATION	69
4.2	RESULT OF SYSTEMATISATION	74
4.2.1	<i>Uninfluenced parameters</i>	75
4.2.2	<i>Influenced parameters</i>	76
4.3	EMPIRICAL MODELLING	78
4.3.1	<i>Grouting effort correlated to rock mass classification system</i>	78
4.4	TWO VARIABLE STATISTICAL MODELLING	81
4.4.1	<i>Available parameters</i>	81
4.4.2	<i>Correlation between grouted volume and Q index</i>	81
4.4.3	<i>Correlation between grouted volume and RQD index</i>	83
4.4.4	<i>Correlation between grout flow and section</i>	84
4.4.5	<i>Correlation between grout flow and grout pressure</i>	85
4.4.6	<i>Joint system periodicity</i>	87

4.4.7	$J_w - J_n - J_r - J_a$ - value and grouted volume	87
4.4.8	Correlation between cement consumption and Lugeon values	88
4.5	MULTIPLE REGRESSION MODELLING	89
4.5.1	Results from multiple regression modelling	92
4.6	RESULTS AND DISCUSSION FROM INITIAL MODELLING	94
4.7	THEORY AND PRACTICE MODELLING	95
4.7.1	General	95
4.7.2	Grout volume modelling	95
4.7.3	Grout time modelling	103
4.8	CONCLUSIONS	106
5	PROBABILISTIC MODELS FOR PREDICTION	107
5.1	GENERAL	107
5.2	MARKOV CHAINS	108
5.3	BAYESIAN STATISTIC	112
5.4	CONCLUSIONS AND DISCUSSION	115
6	CONCLUSIONS AND DISCUSSION	116
6.1	CONCLUSIONS	116
6.2	DISCUSSION AND REFLECTIONS FROM RESEARCH WITHIN GROUTING	119
	REFERENCES	121

APPENDIX 1, THE GEOLOGY IN THE AREA OF ARLANDABANAN

APPENDIX 2, MULTIPLE REGRESSIONS

APPENDIX 3, PROGRAM FOR GROUT TRIALS AT SOUTH LINK

APPENDIX 4, FACTORS INFLUENCING THE SEALING EFFECT AROUND A PREGROUTED TUNNEL

APPENDIX 5, GROUTING FIELD INVESTIGATIONS IN ROCK TUNNELS AT SOUTH LINK STOCKHOLM