



Stability Analysis of Open Pit Mine Slopes Case Study: Nalou Open Pit Mine, Sepon Gold Mine, Vilabouly District, Savannakhet Province, Lao PDR

Phanthoudeth Pongpanya^{1*}, Yanghuekong Yangnaotong¹, Soukthavy Sengsouly¹, Banthasith Vongphouthone¹, Vongsavanh Soysouvanh¹, Souvanna Phengsisomboun²

Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, National University of Laos, Lao PDR

*Correspondence: Phanthoudeth

Abstract

Pongpanya, Department of Mining Engineering, Faculty of Engineering, National University of Laos
Tel: 020 58995585, E-mail: phanthoudeth@fe-nuol.edu.la

Article Info:

Submitted: July 30, 2025

Revised: August 12, 2025

Accepted: August 20, 2025

Slope stability analysis is a crucial and necessary component in the design and planning of open-pit mining operations. It involves assessing the likelihood of slope failure during mining activities to enable the implementation of appropriate mining methods and preventive measures, thereby ensuring safety and minimizing potential losses due to slope instability. This study analyzes the slope stability of the Nalu Open Pit Mine, located within the Sepon Gold Mine in Vilabouly District, Savannakhet Province, Lao PDR. The analysis utilizes the Slope W/2012 program for numerical simulation and considers a Factor of Safety (FoS) greater than 1.200 as the threshold for slope stability. The slope stability assessment was conducted across five sections Sections 1, 2, 3, 4, and 6 under two conditions: with and without the influence of groundwater. The results indicate that the pit slopes are stable when groundwater effects are not considered, with FoS values of 2.047, 1.562, 1.802, 1.732, and 2.012 for Sections 1, 2, 3, 4, and 6, respectively. However, when groundwater effects are taken into account, the FoS values decrease significantly to 1.480, 1.213, 1.362, 1.263, and 1.523 for the same respective sections. Despite the reduction in stability, all slopes remain stable under the defined criteria, even with the influence of groundwater.

Keywords: Pit Slope Stability, Nalu Open Pit Mine, Sepon Gold Mine, Slope W/2012 Program

1. ພາກສະໜີ

ການຂຸດຄົ້ນບໍ່ແຮ່ ເປັນກິດຈະກຳທີ່ມີຄວາມສ່ຽງສູງທີ່ອາດກໍ່ໃຫ້ເກີດອັນຕະລາຍຕໍ່ຊັບສິນ ແລະ ຊີວິດຂອງພະນັກງານ ໂດຍສະເພາະໃນກໍລະນີທີ່ອອກແບບຝາບໍ່ ບໍ່ຖືກຕ້ອງຕາມເຕັກນິກ ແລະ ບໍ່ໄດ້ມາດຕະຖານ (Chiwaye & Stacey, 2010). ການອອກແບບຝາບໍ່ ທີ່ຖືກຕ້ອງຕາມເຕັກນິກ ແລະ ໄດ້ມາດຕະຖານແມ່ນມີຄວາມສຳຄັນຫຼາຍ ເພາະຈະເຮັດໃຫ້ວຽກງານການຂຸດຄົ້ນບໍ່ແຮ່ມີຄວາມປອດໄພ ແລະ ປະສິບຜົນສຳເລັດ ໂດຍສະເພາະເມື່ອຄວາມເລິກຂອງການຂຸດຄົ້ນເພີ່ມຂຶ້ນ (Sjöberg, 1996). ຄວາມປອດໄພໃນການຂຸດຄົ້ນບໍ່ແຮ່ ແມ່ນຈຸດປະສົງຫຼັກ ທີ່ທຸກໆບໍ່ແຮ່ໃນຂອບເຂດທົ່ວປະເທດ ແລະ ທົ່ວໂລກຕ້ອງການ, ແລະ ການອອກແບບຝາບໍ່ ໃຫ້ມີຄວາມປອດໄພ ຈະຕ້ອງໄດ້ອາໃສທັກສະ ແລະ ຄວາມຮູ້ທາງດ້ານທໍລະນີສາດ, ກົນລະສາດດິນ, ກົນລະສາດຫີນ, ພ້ອມທັງບັນດາຂໍ້ມູນອຸປະກອນຕ່າງໆທີ່ຈຳເປັນ ແລະ ການວາງແຜນທີ່ດີ (Nekouei & Ahangari, 2013). ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ແມ່ນຂຶ້ນກັບຫຼາຍປັດໃຈ ເຊັ່ນ ສະພາບທາງທໍລະນີ (ຊະນິດດິນ/ຫີນ ແລະ ໂຄງສ້າງທາງທໍລະນີ), ສະພາບນ້ຳໃຕ້ດິນ, ວິທີການຂຸດຄົ້ນ, ຄວາມຊັນ ແລະ ຄວາມສູງຂອງຝາບໍ່ ເປັນຕົ້ນ (Bisleshana, 2009; Sudarshan, 2013; Abderrazak et al., 2018), ໃນບັນດາປັດໃຈເຫຼົ່ານີ້ ນ້ຳໃຕ້ດິນ ແລະ ສະພາບທາງທໍລະນີ ແມ່ນປັດໃຈຫຼັກທີ່ມີອິດທິພົນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ (Wyllie & Mah, 2004; Yahdi, 2016). ກ່ອນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ ຈຳເປັນຕ້ອງໄດ້ເກັບກຳຂໍ້ມູນທີ່ຈຳເປັນ ແລະ ກ່ຽວຂ້ອງກັບການວິເຄາະ ພ້ອມທັງເລືອກວິທີ ແລະ ເຄື່ອງມືທີ່ເໝາະສົມກັບສະພາບພື້ນທີ່ຂອງໂຄງການສຶກສາ, ໃນກໍລະນີຂອງການວິເຄາະ

ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ ໃນບໍ່ແຮ່ແບບເປີດ (Open pit mine) ຈຳເປັນຕ້ອງໄດ້ເກັບກຳຂໍ້ມູນ ຊະນິດດິນ/ຫີນ, ຄຸນສົມບັດທາງກົນລະສາດຂອງດິນ/ຫີນ, ລະດັບນ້ຳໃຕ້ດິນ ແລະ ຮູບຮ່າງທາງເລຂາຄະນິດຂອງຝາບໍ່ (Abderrazak et al., 2020). ໃນປັດຈຸບັນ ການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ແມ່ນມີຫຼາຍວິທີ ເຊິ່ງແບ່ງອອກເປັນ 3 ປະເພດຫຼັກໆ ໄດ້ແກ່ Empirical Approach, Analytical Approach ແລະ Numerical Approach, ໂດຍທີ່ທັງ 3 ວິທີນີ້ສາມາດພິຈາລະນາປັດໄຈດ້ານນ້ຳໃຕ້ດິນ, ແຮງສັນສະເໜີອນ ຈາກແຜ່ນດິນໄຫວ ແລະ ການເສີມກຳລັງ ເຂົ້າໃນການວິເຄາະໄດ້ (Bye & Bell, 2001; Affam & Allen, 2009; Fleurisson, 2012; Sandi & Rajan, 2016; Dariusz & Jakub, 2017; Shafi at al., 2022; Jose, 2022).

ບົດຄົ້ນຄວ້ານີ້ ມີຈຸດປະສົງເພື່ອວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຝາບໍ່ຂອງບໍ່ນາລູ ທີ່ຕັ້ງຢູ່ໃນພື້ນທີ່ບໍ່ຄຳເຊໂປນ ເມືອງວິລະບຸລີ ແຂວງສະຫວັນນະເຂດ ສປປ ລາວ (ຮູບພາບທີ 1), ເຊິ່ງການວິເຄາະແມ່ນຈະນຳໃຊ້ວິທີການສ້າງແບບຈຳລອງທາງໂຕເລກ (Numerical Simulation) ໂດຍນຳໃຊ້ໂປຣແກຣມ Slope W/2012 ເປັນເຄື່ອງມືໃນການວິເຄາະ. ຄ່າສຳປະສິດຄວາມປອດໄພ (Factor of Safety, FoS) ທີ່ໃຫຍ່ກວ່າ 1.200 ຈະຖືກນຳໃຊ້ເພື່ອຢັ້ງຢືນຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່. ການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຝາບໍ່ຂອງບໍ່ນາລູຈະດຳເນີນຢູ່ 5 ໜ້າຕັດ ປະກອບມີ ໜ້າຕັດ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6 ໂດຍພິຈາລະນາ 2 ກໍລະນີຄື ກໍລະນີບໍ່ພິຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ ແລະ ກໍລະນີພິຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ.

2. ອຸປະກອນ ແລະ ວິທີການ

ໃນການສຶກສາຄັ້ງນີ້ ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູ ແມ່ນຖືກວິເຄາະດ້ວຍວິທີການສ້າງແບບຈຳລອງທາງໂຕເລກ (Numerical Simulation) ໂດຍນຳໃຊ້ໂປຣແກຣມ Slope W/2012 ເປັນເຄື່ອງມືໃນການວິເຄາະ (GeoStudio, 2012). ໜ້າຕັດຂອງຝາບ່າ ທີ່ຖືກຝຶກຝາລະນາໃນການສຶກສາຄັ້ງນີ້ ປະກອບມີ 6 ໜ້າຕັດ ໄດ້ແກ່ ໜ້າຕັດ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6. ຮູບພາບທີ 2 ສະແດງແຜນຜັງຕຳແໜ່ງຂອງໜ້າຕັດຝາບ່ານາລູ ທີ່ຝຶກຝາລະນາໃນການວິເຄາະ, ແລະ ຮູບພາບທີ 3 ສະແດງລາຍລະອຽດ ແລະ ອົງປະກອບຂອງໜ້າຕັດຝາບ່າ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6. ອົງຕາມຂໍ້ມູນການອອກແບບຂອງຝາບ່າ, ຝາບ່າ Section 1 ມີຄວາມສູງ 94 ແມັດ ແລະ ມຸມຊັນ 27 ອົງສາ, ຝາບ່າ Section 2 ມີຄວາມສູງ 65 ແມັດ ແລະ ມຸມຊັນ 42 ອົງສາ, ຝາບ່າ Section 3 ມີຄວາມສູງ 59 ແມັດ ແລະ ມຸມຊັນ 39 ອົງສາ, ຝາບ່າ Section 4 ມີຄວາມສູງ 50 ແມັດ ແລະ ມຸມຊັນ 40 ອົງສາ, ແລະ ຝາບ່າ Section 6 ມີຄວາມສູງ 42 ແມັດ ແລະ ມຸມຊັນ 33 ອົງສາ. ນອກຈາກນີ້ ອົງໃສ່ຂໍ້ມູນທາງດ້ານທໍລະນີສາດຂອງບໍ່ນາລູ, ຊັ້ນດິນ/ຫີນ ໃນບໍ່ນາລູ ປະກອບມີ ຫີນສິດ (Fresh Rock), ຫີນຜຸຜັງ (Weathered Rock), ດິນໜຽວ (Oxide Clay) ແລະ ດິນຖົມ (Backfilled Layer). ຕາຕະລາງທີ 1 ສະແດງຄຳຄຸນສົມບັດທາງກົນລະສາດຂອງດິນ ແລະ ຫີນ ທີ່ໃຊ້ເຂົ້າໃນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູ (Chifeng LXML, 2019) ດ້ວຍວິທີ Numerical Simulation ໂດຍນຳໃຊ້ໂປຣແກຣມ Slope W/2012.

3. ຜົນໄດ້ຮັບ

ບົດຄຳວ່ານີ້ ໄດ້ວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູ ທັງໝົດ 5 ໜ້າຕັດ ໄດ້ແກ່ ໜ້າຕັດ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6 ໂດຍດຳເນີນການວິເຄາະພາຍໃຕ້ 2 ເງື່ອນໄຂ ຄື ບໍ່ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າ ແລະ ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າ.

ຮູບພາບທີ 4 ສະແດງຜົນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູ ໂດຍບໍ່ໄດ້ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ. ຈາກຜົນການວິເຄາະ ພົບວ່າ ຝາບ່າຂອງບໍ່ນາລູໃນກໍລະນີບໍ່ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ ແມ່ນມີຄວາມສະຖຽນລະພາບດີໃນທຸກໆໜ້າຕັດ ເຊິ່ງຄ່າສຳປະສິດຄວາມປອດໄພ (FoS) ທີ່ວິເຄາະໄດ້ສຳລັບໜ້າຕັດ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6 ມີຄ່າເທົ່າກັບ 2.047, 1.562, 1.802, 1.732 ແລະ 2.012 ຕາມລຳດັບ. ຮູບພາບທີ 5 ສະແດງຜົນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູ ພາຍໃຕ້ເງື່ອນໄຂທີ່ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ. ຈາກຜົນການວິເຄາະ ພົບວ່າ ນ້ຳໃຕ້ດິນທີ່ມີຢູ່ໃນມວນດິນ/ຫີນສົ່ງຜົນເຮັດໃຫ້ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູຫຼຸດລົງ ໂດຍຄ່າ FoS ທີ່ວິເຄາະໄດ້ສຳລັບໜ້າຕັດ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6 ໄດ້ຫຼຸດລົງ ເທົ່າກັບ 1.480, 1.213, 1.362, 1.263 ແລະ 1.523 ຕາມລຳດັບ. ຢ່າງໃດກໍຕາມ, ເຖິງແມ່ນວ່າຄ່າ FoS ຂອງຝາບ່າຈະຫຼຸດລົງເມື່ອຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ ແຕ່ຝາບ່າຂອງບໍ່ນາລູແມ່ນຍັງຢູ່ໃນເກນທີ່ມີຄວາມປອດໄພດີ ເນື່ອງຈາກຄ່າ FoS ຂອງທຸກໆໜ້າຕັດປະເມີນໄດ້ແມ່ນມີຄ່າໃຫຍ່ກວ່າ 1.200. ຕາຕະລາງທີ 1 ໄດ້ສະຫຼຸບຄ່າ FoS ທີ່ປະເມີນໄດ້ສຳລັບຝາບ່ານາລູ ແລະ ຮູບພາບທີ 6 ແມ່ນເສັ້ນສະແດງສົມທຽບຄວາມແຕກຕ່າງຂອງຄ່າ FoS ສຳລັບໜ້າຕັດ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ

Section 6 ໃນກໍລະນີທີ່ບໍ່ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າ ແລະ ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າ.

4. ວິພາກຜົນ

ຜົນວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູ ໂດຍບໍ່ໄດ້ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ ໄດ້ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ໜ້າຕັດຝາບ່າ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6 ແມ່ນມີຄວາມສະຖຽນລະພາບ ນັ້ນໝາຍຄວາມວ່າ ການຂຸດຄົ້ນບໍ່ແຮ່ຢູ່ຕາມໜ້າຕັດເຫຼົ່ານີ້ແມ່ນມີຄວາມປອດໄພ ຫຼື ເວົ້າອີກຢ່າງໜຶ່ງແມ່ນ ຝາບ່າບໍ່ມີໂອກາດທີ່ຈະເກີດການຜັງທະລາຍໃນລະຫວ່າງການຂຸດຄົ້ນບໍ່ແຮ່. ອົງຕາມຜົນການວິເຄາະທີ່ສະແດງໄວ້ໃນ ຮູບພາບທີ 4 ແລະ 6 ພົບວ່າ ຝາບ່າຢູ່ໜ້າຕັດ Section 2 ມີຄວາມສະຖຽນລະພາບຕ່ຳກວ່າໝູ່ ເມື່ອປຽບທຽບກັບໜ້າຕັດອື່ນໆ ເຊິ່ງມີຄ່າ FoS ເທົ່າກັບ 1.562, ເຫດຜົນຍ້ອນວ່າຝາບ່າຢູ່ໜ້າຕັດ Section 2 ມີມຸມຄວາມຊັນ (Overall slope angle) ທີ່ຫຼາຍກວ່າໝູ່ ເຊິ່ງເທົ່າກັບ 42 ອົງສາ; ຖັດມາແມ່ນໜ້າຕັດ Section 4 ມີຄ່າ FoS ເທົ່າກັບ 1.732 ເຊິ່ງເທົ່າກັບ 40 ອົງສາ, ໂດຍສິ່ງນີ້ໄດ້ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູຈະຫຼຸດລົງເມື່ອມຸມຄວາມຊັນຂອງຝາບ່າເພີ່ມຂຶ້ນ, ມຸມຄວາມຊັນທີ່ສູງຈະສົ່ງຜົນເຮັດໃຫ້ແຮງຂັບເຄື່ອນ (Driving force) ເພີ່ມຂຶ້ນ ຍ້ອນວ່າ ຈະມີປະລິມານມວນດິນ/ຫີນຢູ່ໃນຝາບ່າຫຼາຍກວ່າ ເມື່ອທຽບກັບຝາບ່າທີ່ມີມຸມຄວາມຊັນທີ່ຕ່ຳກວ່າ (Bisleshana, 2009; Selahattin, 2015; Wael et al., 2022).

ນອກຈາກນີ້, ຜົນການວິເຄາະທີ່ສະແດງໄວ້ໃນ ຮູບພາບທີ 5 ແລະ 6 ຍັງຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ປັດໄຈນ້ຳໃຕ້ດິນແມ່ນມີຜົນຫຼາຍຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່ານາລູ, ສຳປະສິດຄວາມປອດໄພຂອງຝາບ່າຢູ່ໜ້າຕັດ Section 1, Section 2, Section 3, Section 4 ແລະ Section 6 ມີຄ່າຫຼຸດລົງຫຼາຍ ເມື່ອການວິເຄາະໄດ້ຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າ. ສິ່ງນີ້ ໄດ້ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າຈະຫຼຸດລົງ ເມື່ອມີນ້ຳໃຕ້ດິນຢູ່ໃນມວນດິນ/ມວນຫີນຂອງຝາບ່າ ຫຼື ເມື່ອລະດັບນ້ຳໃຕ້ດິນເພີ່ມຂຶ້ນ. ຈາກຜົນການວິເຄາະ ສາມາດເວົ້າໄດ້ວ່າ ນ້ຳໃຕ້ດິນແມ່ນໜຶ່ງໃນບັນດາປັດໄຈຫຼັກທີ່ສົ່ງຜົນກະທົບຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າ, ນ້ຳໃຕ້ດິນຈະເປັນສາເຫດຫຼັກທີ່ເຮັດໃຫ້ນ້ຳໜັກຂອງມວນດິນ/ຫີນໃນຝາບ່າເພີ່ມຂຶ້ນ, ສົ່ງຜົນເຮັດໃຫ້ແຮງຂັບເຄື່ອນ (Driving force) ໃນມວນດິນ/ຫີນເພີ່ມຂຶ້ນ ແລະ ໃນຂະນະດຽວກັນກໍເຮັດໃຫ້ແຮງຕ້ານທານ (Resisting force) ແຮງເຊື່ອນຂອງມວນດິນ/ຫີນຫຼຸດລົງ, ສຸດທ້າຍແລ້ວ ກໍສົ່ງຜົນເຮັດໃຫ້ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າຫຼຸດລົງ ຫຼື ຄ່າສຳປະສິດຄວາມປອດໄພມີຄ່າໜ້ອຍລົງ (Ashkan & Alborz, 2015; Salih & Ahmet, 2021; Shalaho & Pretty, 2021). ເຖິງແມ່ນວ່າຄ່າ FoS ຂອງຝາບ່າຈະຫຼຸດລົງເມື່ອຝຶກຝາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ ແຕ່ຝາບ່າຂອງບໍ່ນາລູແມ່ນຍັງຢູ່ໃນເກນທີ່ມີຄວາມປອດໄພດີ ເນື່ອງຈາກຄ່າ FoS ຂອງທຸກໆໜ້າຕັດປະເມີນໄດ້ແມ່ນມີຄ່າໃຫຍ່ກວ່າ 1.200. ເຖິງຢ່າງໃດກໍຕາມ, ເພື່ອຮັບປະກັນຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບ່າ ການລະບາຍນ້ຳໃຕ້ດິນອອກຈາກຝາບ່າຈຶ່ງເປັນສິ່ງຈຳເປັນ ແລະ ຕ້ອງໄດ້ຝຶກຝາລະນາ. ການລະບາຍນ້ຳອອກຈາກຝາບ່າສາມາດເຮັດໄດ້ໂດຍການຊີເຈາະມວນດິນ/ຫີນເຂົ້າໄປໃນຝາບ່າຕາມທິດທາງນອນ ຫຼັງຈາກນັ້ນນຳເອົາຫໍ PVC ທີ່ເຈາະຮູໄວ້ຕາມທໍ່ ແລະ ຜັນດ້ວຍຜ້າ Geotextile ເຂົ້າໄປຕິດຕັ້ງໄວ້ໃນຮູທີ່ເຈາະກະກຽມໄວ້. ນອກຈາກນີ້, ຄວນຈະຕິດຕັ້ງເຄື່ອງວັດແທກລະດັບນ້ຳໃຕ້ດິນ ເພື່ອວັດແທກລະດັບຄວາມສູງນ້ຳໃຕ້ດິນເປັນປະຈຳ

ເພື່ອຕິດຕາມລະດັບທີ່ອາດເຮັດໃຫ້ເກີດອັນຕະລາຍ ຫຼື ລະດັບທີ່ອາດເຮັດໃຫ້ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ຫຼຸດລົງ.

5. ສະຫຼຸບ

ອີງຕາມຜົນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ນາລູ ພົບວ່າ ຝາບໍ່ຂອງບໍ່ນາລູໃນກໍລະນີບໍ່ພິຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນໍ້າໃຕ້ດິນ ແມ່ນມີຄວາມສະຖຽນລະພາບດີໃນທຸກໆໜ້າຕັດ ໝາຍຄວາມວ່າ ການຂຸດຄົ້ນບໍ່ແຮງຢູ່ບໍ່ນາລູແມ່ນມີຄວາມປອດໄພ. ນອກຈາກນີ້ ຈາກຜົນການວິເຄາະຍັງພົບວ່າ ຝາບໍ່ຢູ່ໜ້າຕັດ Section 2 ມີຄວາມສະຖຽນລະພາບຕໍ່າກວ່າໝູ່ ເມື່ອປຽບທຽບກັບໜ້າຕັດອື່ນໆ ເຫດຜົນຍ້ອນວ່າ ຝາບໍ່ຢູ່ໜ້າຕັດ Section 2 ມີມຸມຄວາມຊັນທີ່ຫຼາຍກວ່າໝູ່ ແລະ ຖັດມາແມ່ນໜ້າຕັດ Section 4, ໂດຍສິ່ງນີ້ໄດ້ຊີ້ໃຫ້ເຫັນວ່າ ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ນາລູຈະຫຼຸດລົງ ເມື່ອມຸມຄວາມຊັນຂອງຝາບໍ່ເພີ່ມຂຶ້ນ, ມຸມຄວາມຊັນທີ່ສູງຈະສົ່ງຜົນເຮັດໃຫ້ແຮງຂັບເຄື່ອນເພີ່ມຂຶ້ນ ຍ້ອນວ່າ ຈະມີປະລິມານມວນດິນ/ຫີນຢູ່ໃນຝາບໍ່ຫຼາຍກວ່າ ເມື່ອທຽບກັບຝາບໍ່ທີ່ມີມຸມຄວາມຊັນທີ່ຕໍ່າກວ່າ.

ນອກຈາກນີ້, ສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພຂອງຝາບໍ່ນາລູຢູ່ທຸກໆໜ້າຕັດແມ່ນມີຄ່າຫຼຸດລົງຫຼາຍ ເມື່ອການວິເຄາະໄດ້ພິຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນໍ້າໃຕ້ດິນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່. ເຖິງແມ່ນວ່າ ຄ່າສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພຂອງຝາບໍ່ຈະຫຼຸດລົງ ແຕ່ຝາບໍ່ ຂອງບໍ່ນາລູ ແມ່ນຍັງຢູ່ໃນເກນທີ່ມີຄວາມປອດໄພດີ. ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ຫຼຸດລົງ ຍ້ອນວ່າມີນໍ້າໃຕ້ດິນຢູ່ໃນມວນດິນ/ມວນຫີນຂອງຝາບໍ່. ຈາກຜົນການວິເຄາະ ສາມາດເວົ້າໄດ້ວ່າ ນໍ້າໃຕ້ດິນແມ່ນໜຶ່ງໃນບັນດາປັດໄຈຫຼັກທີ່ສົ່ງຜົນກະທົບຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່, ນໍ້າໃຕ້ດິນຈະເປັນສາເຫດຫຼັກທີ່ເຮັດໃຫ້ນໍ້າໜັກຂອງມວນດິນ/ຫີນໃນຝາບໍ່ເພີ່ມຂຶ້ນ, ສົ່ງຜົນເຮັດໃຫ້ແຮງຂັບເຄື່ອນໃນມວນດິນ/ຫີນເພີ່ມຂຶ້ນ ແລະ ໃນຂະນະດຽວກັນກໍເຮັດໃຫ້ແຮງຕ້ານທານ ຫຼື ແຮງເຊື່ອນຂອງມວນດິນ/ຫີນຫຼຸດລົງ, ສຸດທ້າຍແລ້ວ ກໍສົ່ງຜົນເຮັດໃຫ້ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ຫຼຸດລົງ.

6. ຂໍ້ຂັດແຍ່ງ

ຂ້າພະເຈົ້າໃນນາມຜູ້ຄົນຄວ້າວິທະຍາສາດ ຂໍປະຕິບາຍຕົນວ່າ ຂໍ້ມູນທັງໝົດທີ່ມີໃນບົດຄວາມວິຊາການດັ່ງກ່າວນີ້ ແມ່ນບໍ່ມີຂໍ້ຂັດແຍ່ງທາງຜົນປະໂຫຍດກັບພາກສ່ວນໃດ ແລະ ບໍ່ໄດ້ເອື້ອປະໂຫຍດໃຫ້ກັບພາກສ່ວນໃດພາກສ່ວນໜຶ່ງ, ກໍລະນີມີການລະເມີດ ໃນຮູບການໃດໜຶ່ງ ຂ້າພະເຈົ້າມີຄວາມຍິນດີ ທີ່ຈະຮັບຜິດຊອບແຕ່ພຽງຜູ້ດຽວ.

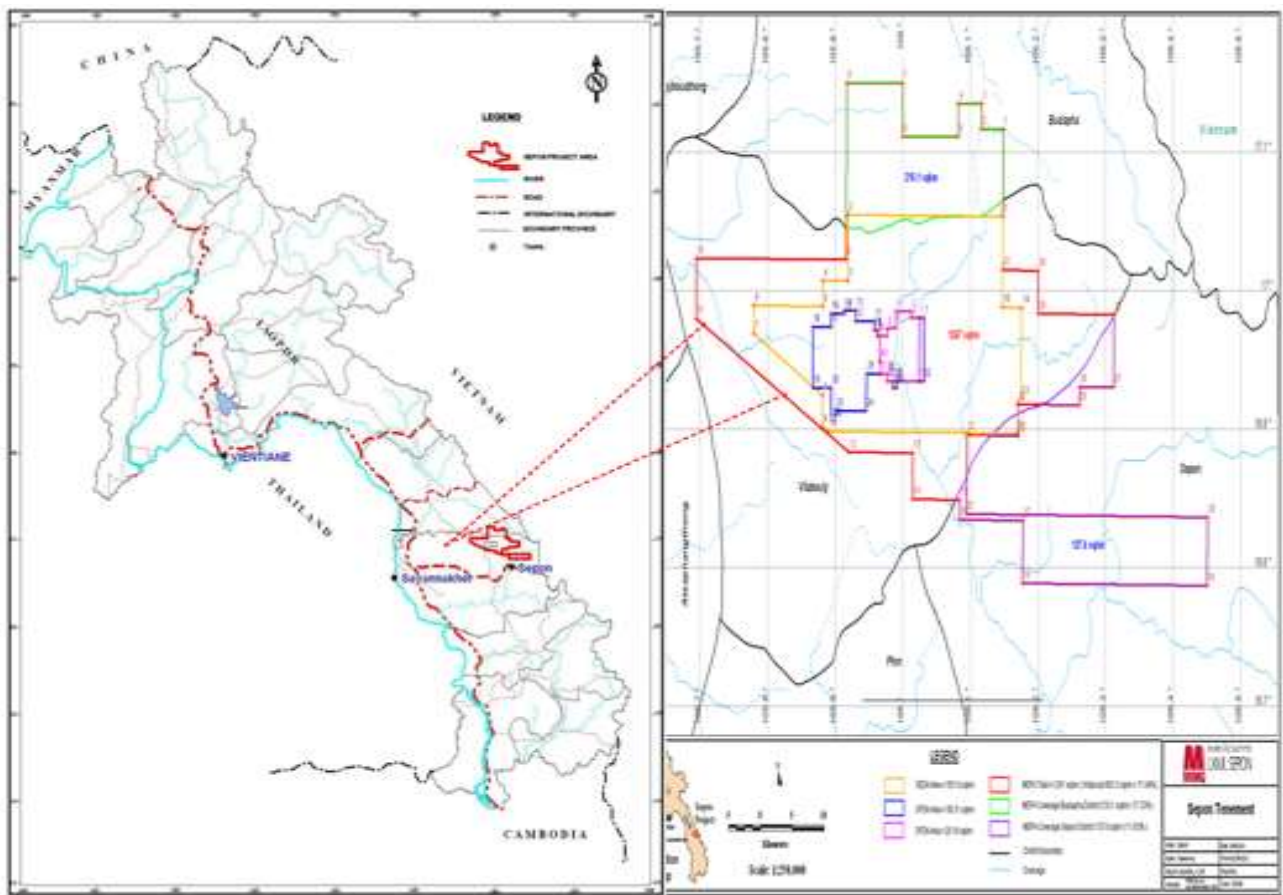
7. ເອກະສານອ້າງອີງ

- Affam, M. and Allen, K. E. (2009). Pit wall stability analysis-Case studies. *Ghana Mining Journal*, 11: 31-36.
- Ashkan, G.N. and Alborz, H. (2015). The effect of cohesion and level of groundwater on the slope instability using finite element method. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 6(10): 96-99.
- Abderrazak, S., Abdallah, H., Youcef, K., Mohamed, F., Riadh, B. and Radouane, N. (2018). Study effect of geological parameters of the slope stability by numerical modelling, case Limestone Career of

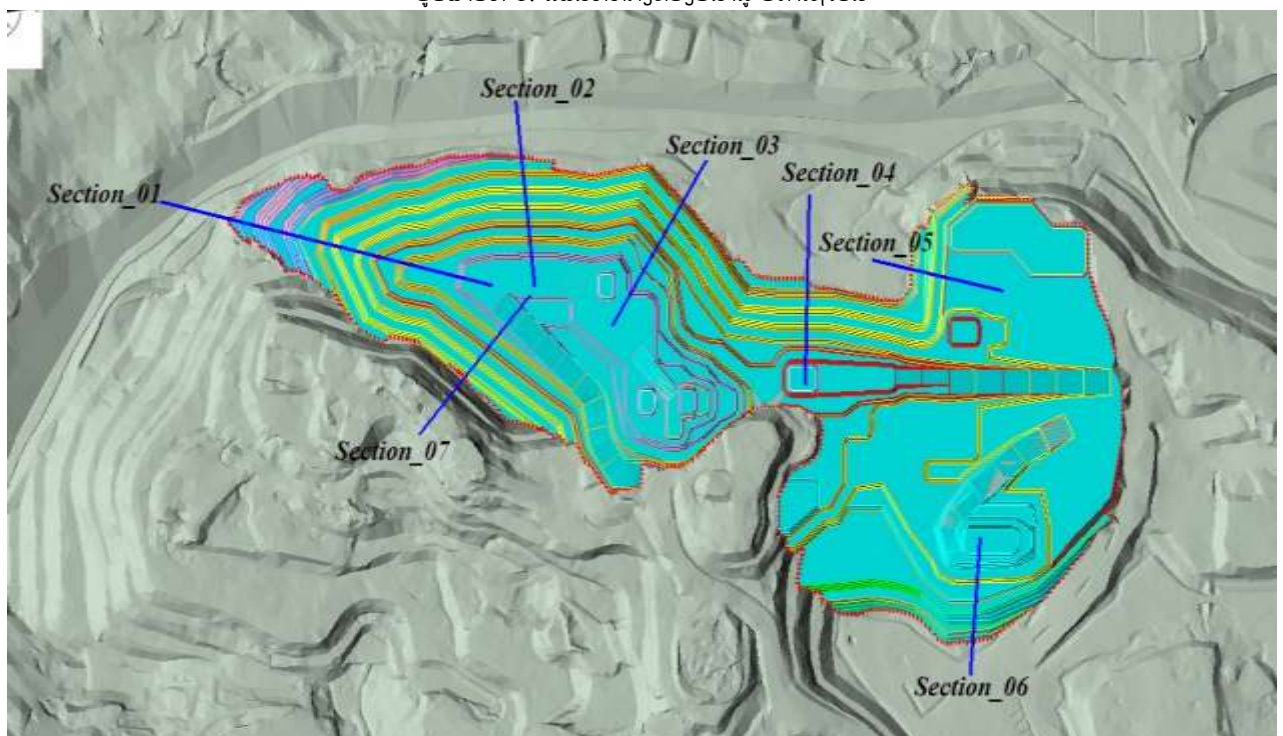
Lafargem'sila Algeria. *World Multidisciplinary Earth Sciences System*, 221: 1-9.

- Abderrazak, S., Isik, Y., Abdallah, H., Riheb, H., Mohamed, F., Riadh, B. and Radouane, N. (2020). Study effect of geological parameters of the slope stability by numerical modelling, case Limestone Career of Lafargem'sila Algeria. *World Multidisciplinary Earth Sciences System*, 960: 1-12.
- Bye, A. R. and Bell, F. G. (2001). Stability assessment and slope design at Sandsloot open pit, South Africa. *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences*, 38: 449-466.
- Bisleshana, B. P. (2009). Design of stable slope for opencast mines. *Department of Mining Engineering, National Institute of Technology, Rourkela*.
- Chiwaye, H. and Stacey, T. (2010). A comparison of limit equilibrium and numerical modelling approaches to risk analysis for open pit mining. *Journal of the Southern African institute of Mining and Metallurgy*, 110(10): 571-580.
- Chifeng LXML. (2019). Sepon gold project geotechnical study. *Mining One Pty Ltd, Melbourne VIC 3000*.
- Dariusz, S. and Jakub, Z. (2017). A slope stability analysis of an open-pit mine to evaluate its suitability as a site for the intersection of the s-7 and s-52 Expressway. *Technical Transaction, Mechanics*, 211-220.
- Fleurisson, J. A. (2012). Slope design and implementation in open pit mine: Geological and geomechanical approach. *1st International Symposium in Innovation and Technology in the Phosphate Industry*, 46: 27-38.
- GeoStudio (2012). SLOPE/W Tutorial. *GEO-SLOPE International Ltd., Ave SW, Calgary, AB, Canada*, 1-10.

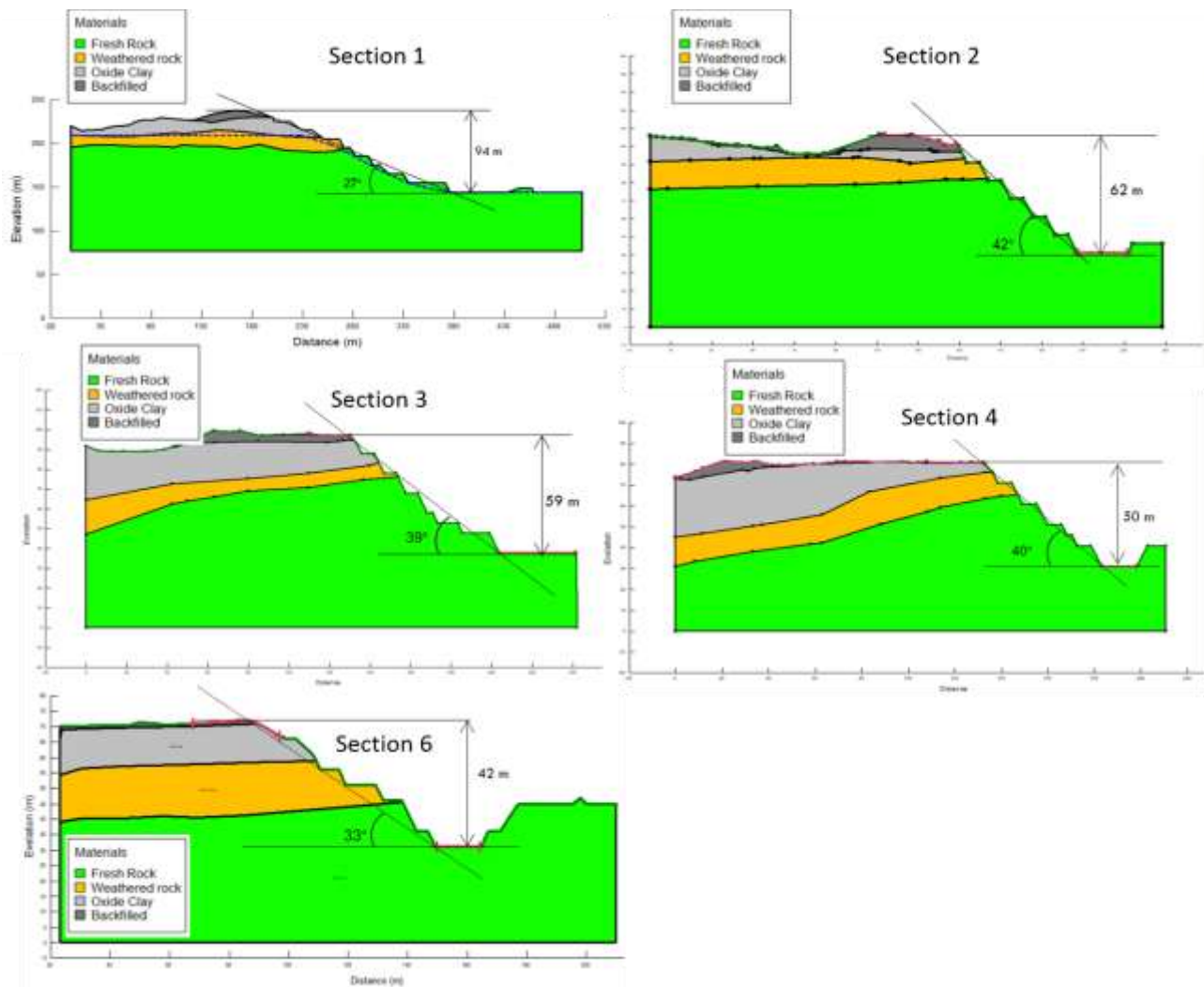
- Jose, L.C. (2022). Slope stability analysis for open pits: Geological and geomechanical approach. *Golder Associates Ltd., Mississauga, Canada, 1-15*.
- Nekouei, A.M., & Ahangari, K. (2013). Modified Stability Charts for Rock Slopes Based on the Hoek-Brown Failure Criterion. *Archives of Mining Sciences, 58*(3). DOI:10.2478/amsc-2013-0052
- Sjöberg, J. (1996). Large scale slope stability in open pit mining: a review. *Luleå tekniska universitet*.
- Sudarshan, P. (2013). Stability analysis of open pit slope using FLAC. *Department of Mining Engineering, National Institute of Technology, Rourkela*.
- Selahattin, A. (2015). *Determination of optimum overall slope angle for an open pit iron mine*. Graduate School of Natural and Applied Science, Mining Engineering Department, Middle East Technical University.
- Sandi, K. R. and Rahan, A. B. (2016). Stability analysis of an open pit slope in a chromite mine. *Recent Advances in Rock Mechanics, 470-473*.
- Salih, Y. and Ahmet, S. (2021). Groundwater level estimation for slope stability analysis of a coal open pit mine. *Civil Engineering Research Journal, 12*(1): 1-8.
- Shalaho, D. D. and Pretty, P.H. (2022). Groundwater effect on slope stability in open pit mining: a case of West Kutai Regency, East Kalimantan, Indonesia. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology, 6*(4): 192-205.
- Shafi, M.P., Abdul, G.P., Fahad, I.S., Muhammad, B.M. and Mairaj, H.A.A.S. (2022). Open pit slope stability analysis in soft rock formations at Thar Coalfield Pakistan. *Arch. Min. Sci, 67*(3): 437-454.
- Wyllie, D.C. and Mah, C.W. (2004). *Rock Slope Engineering, Civil and mining, 4th ed. New York: Spon Press*.
- Wael, R.A., Chiaki, H., Atsushi, S., Ahmed, R.T. and Mahrous, A.M.A. (2022). Estimating the optimal overall slope angle of open-pit mines with probabilistic analysis. *Applied Sciences, 12*(9): 1-23.
- Yahdi, A. (2016). Stability analysis and failure mechanisms of open pit rock slope. *Journal of the Civil Engineering Forum, 2*(3): 141-150.



ຮູບພາບທີ 1: ແຜນທີ່ທີ່ຕັ້ງຂອງບໍ່ນາລູ ບໍ່ຄຳເຊໂປນ



ຮູບພາບທີ 2: ແຜນຜັງໜ້າຕັດຝາບໍ່



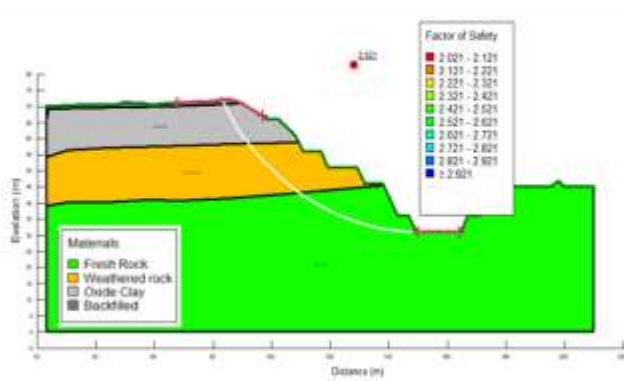
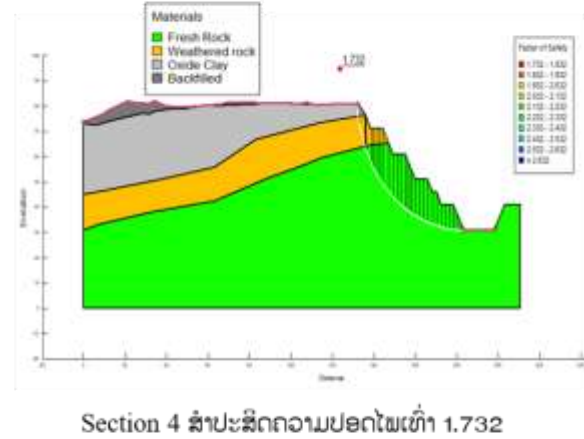
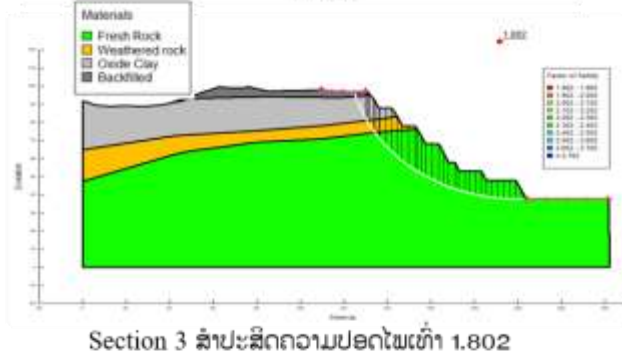
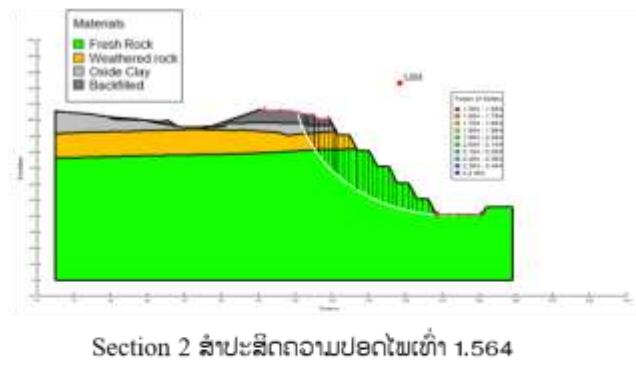
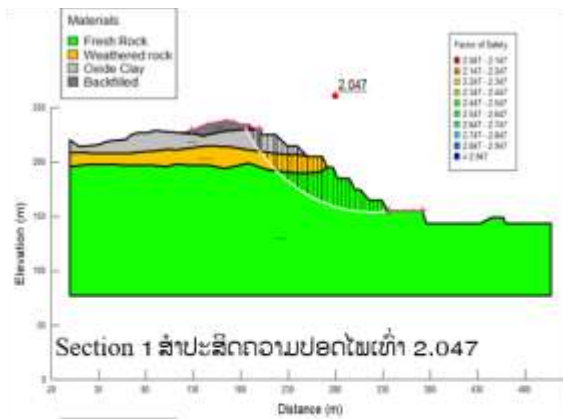
ຮູບພາບທີ 3: ລາຍລະອຽດໜ້າຕັດຝາທີ່ພິຈາລະນາໃນການສຶກສາ

ຕາຕະລາງທີ 1. ຄຸນສົມບັດຂອງດິນ ແລະ ຫີນ ທີ່ໃຊ້ເຂົ້າໃນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ນາລູ

ປະເພດດິນ/ຫີນ	ມູມຮຸກຖູພາຍໃນ, ϕ ($^{\circ}$)	ແຮງຍືດໜຽວ, C (kPa)	ໜ່ວຍນ້ຳໜັກ, γ (kN/m 3)
ຫີນສົດ (Fresh Rock)	30	24	22
ຫີນຜຸ້ງ (Weathered Rock)	24	15	18
ດິນໜຽວ (Oxide Clay)	35	90	27
ດິນຖືມ (Backfill)	33	1	20

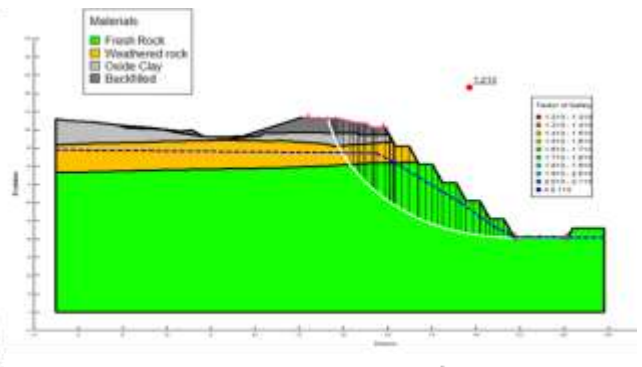
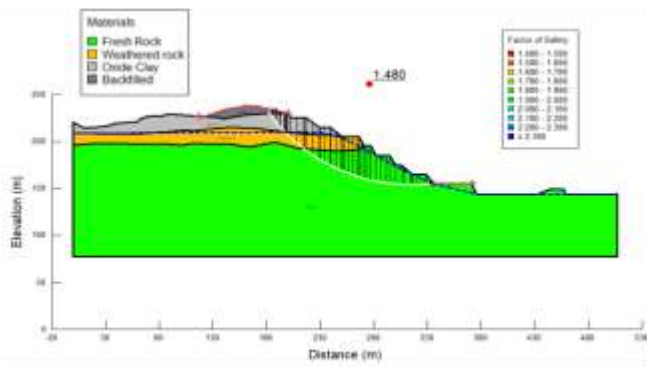
ຕາຕະລາງທີ 2. ສະຫຼຸບຄ່າສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພຂອງຝາບໍ່ນາລູທີ່ໄດ້ຈາກການວິເຄາະ

ໜ້າຕັດ	ບໍ່ພິຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ	ພິຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ
Section 1	2.047	1.480
Section 2	1.562	1.213
Section 3	1.802	1.362
Section 4	1.732	1.263
Section 6	2.012	1.523



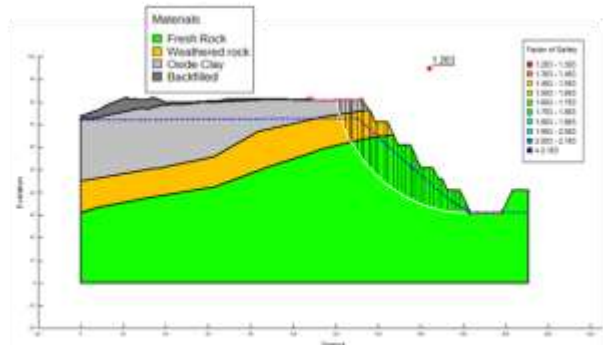
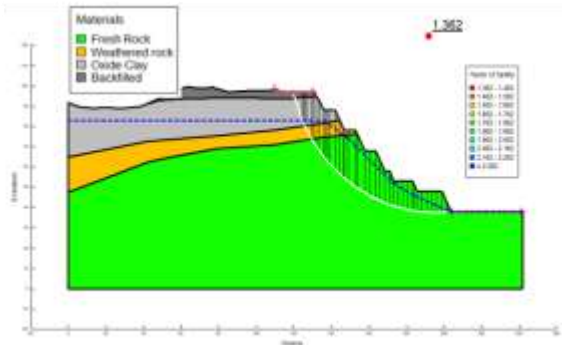
ລຳດັບ	ໜ້າຕິດ	ຂະໜາດນໍ້າຕົກ		FOS	ໝາຍເຫດ
		ຄວາມສູງ (m)	ຄວາມຮິບ (°)		
1	1	94	27	2.047	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
2	2	62	42	1.562	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
3	3	59	39	1.802	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
4	4	50	40	1.732	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
5	6	42	33	2.012	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ

ຮູບພາບທີ 4: ສະແດງຜົນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ນາລູ ໂດຍບໍ່ໄດ້ພິຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນໍ້າໃຕ້ດິນ



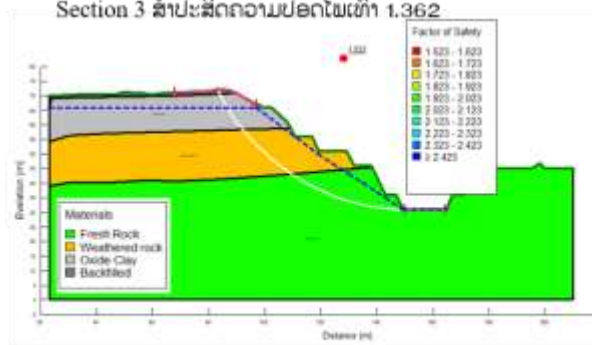
Section 1 ສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພເທົ່າ 1.480

Section 2 ສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພເທົ່າ 1.213



Section 3 ສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພເທົ່າ 1.362

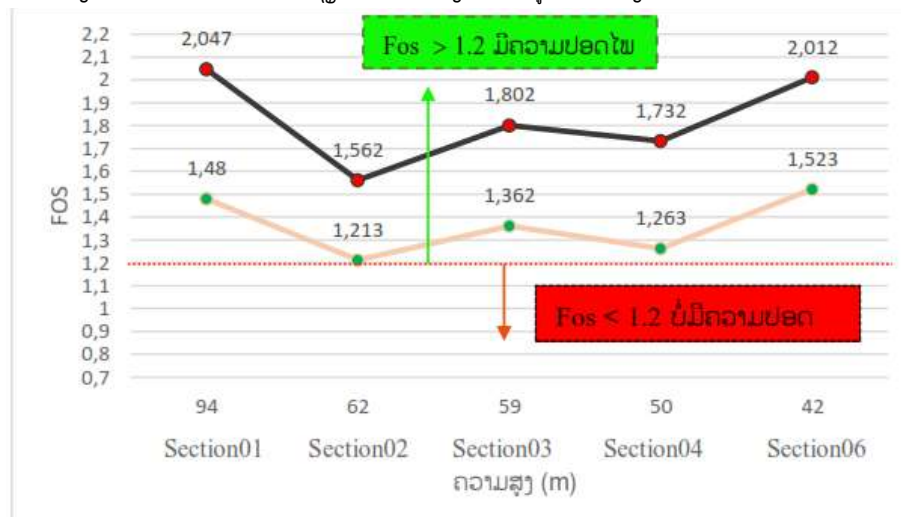
Section 4 ສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພເທົ່າ 1.263



Section 6 ສໍາປະສິດຄວາມປອດໄພເທົ່າ 1.523

ລຳດັບ	ໜ້າຕັດ	ຂະໜາດໜ້າຕັດ		FOS	ໝາຍເຫດ
		ຄວາມສູງ (m)	ຄວາມຊັນ (°)		
1	1	94	27	1.48	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
2	2	62	42	1.213	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
3	3	59	39	1.362	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
4	4	50	40	1.263	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ
5	6	42	33	1.523	Fos > 1.2 ມີຄວາມປອດໄພ

ຮູບພາບທີ 5: ສະແດງຜົນການວິເຄາະຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາບໍ່ນາລູ ພາຍໃຕ້ເງື່ອນໄຂທີ່ຝົຈາລະນາຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນ



ຮູບພາບທີ 6: ເສັ້ນສະແດງສົມທຽບຄວາມແຕກຕ່າງຂອງຄ່າ FoS ໃນກໍລະນີທີ່ບໍ່ຝົຈາລະນາ ແລະ ຝົຈາລະນາ ຜົນກະທົບຂອງນ້ຳໃຕ້ດິນຕໍ່ຄວາມສະຖຽນລະພາບຂອງຝາ