

Estudi de detall de desprendiments (EDD) en l'àmbit del Projecte d'Actuació Específica (PAE) de reforma i rehabilitació d'edificacions existents per a implantació d'ús hotel·ler a Valarties, municipi de Naut Aran (Val d'Aran)

Codi: GNR-231103

Març 2024



## Taula de continguts

---

1	Introducció .....	4
1.1	Antecedents.....	4
1.2	Objecte i abast.....	5
1.3	Metodologia i criteris d'aplicació .....	5
1.4	Treballs de gabinet i de camp.....	5
1.5	Àmbit d'estudi .....	7
1.6	Context territorial .....	9
2	Geologia i geomorfologia .....	10
3	Caracterització de la dinàmica de desprendiments.....	13
3.1	Dinàmica de desprendiments en l'àmbit d'estudi .....	13
3.2	Anàlisi estructural .....	14
3.3	Anàlisi geològica-geomorfològica .....	16
4	Anàlisi d'indicadors i de l'activitat observada .....	21
4.1	Blocs.....	22
4.2	Volums de referència.....	35
5	Modelització.....	37
5.1	Introducció .....	37
5.2	Simulació RockGis.....	37
5.3	Simulació amb RocFall2 .....	42
5.4	Normativa vigent considerada.....	45

5.5	Resultats de la simulació .....	49
6	Zonificació del terreny segons la perillositat per desprendiments.....	61
7	Alternatives de defensa .....	65
7.1	Proposta d'actuació .....	65
7.2	Instal·lació de pantalles dinàmiques .....	66
7.3	Ancoratges puntuals .....	68
7.4	Valoració econòmica .....	69
8	Conclusions .....	70

Annex 1: Estació geomecànica

Annex 2: Inventari de blocs

Annex 3: Resultats de les simulacions

Annex 4: Plànols

# 1 Introducció

El present informe ha estat realitzat per encàrrec de David Ruiz, segons les condicions definides en l'oferta econòmica corresponent, i aprovada amb data 20 de novembre de 2023.

L'estudi s'ha realitzat a mode de servei d'assistència tècnica d' autor. L'objectiu principal és analitzar la problemàtica i recomanar la realització d'un estudi de quantificació i zonificació de la perillositat de desprendiments, per conèixer amb detall com aquesta perillositat pot afectar l'àmbit delimitat del Projecte d'Actuació Específica (PAE) de reforma i rehabilitació d'edificis existents per a implantació d'ús hotel·ler als Prats de l'Artiga (en endavant PAE de l'Artiga), a Valarties, terme municipal de Naut Aran (Val d'Aran, Lleida) i poder traçar una estratègia de mitigació del risc.

Malgrat aquests estudis no estan tipificats ni regulats per una norma concreta, a tall de cas d'aplicació i test de metodologies, l'estudi s'ha basat en la "Guia per a la realització d'estudis de zonificació i quantificació de la perillositat de caiguda de roques i desprendiments" (AP-0026/27), document intern de treball de l'ICGC en fase de revisió, amb data de redacció de gener de 2022.

## 1.1 Antecedents

Amb data de desembre de 2023, l'empresa GeoNeu Risk, presenta l'informe "Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (EIRG) en l'àmbit del PAE de l'Artiga a Valarties, municipi de Naut Aran (Val d'Aran)" (GNR-230902).

En aquest informe s'ha estimat una perillositat mitjana per desprendiments a diferents àrees de l'àmbit delimitat ja que s'ha observat desprendiments antics amb abast més enllà dels edificis, i recents a la proximitat d'aquests, confirmats pels angles d'abast recomanats per l'ICGC. Aquest informe recomana la realització d'un estudi de detall per delimitar amb precisió la perillositat i definir les millors estratègies de protecció.

## 1.2 Objecte i abast

L'objecte del present treball és la redacció de l'estudi de detall de la perillositat per desprendiments a l'àmbit del PAE de l'Artiga, Valarties, Naut Aran, i posterior proposta d'alternatives de protecció.

## 1.3 Metodologia i criteris d'aplicació

Aquests estudis no estan tipificats ni regulats per una norma concreta, si bé actualment l'ICGC té en curs l'elaboració d'una guia tècnica de referència que orienti aquest tipus de treballs (guia que ha estat consultada per a l'elaboració del present treball). En conseqüència, aquest estudi constitueix també un cas d'aplicació i test de metodologies a debatre amb l'ICGC per a consolidar criteris a publicar en un futur.

## 1.4 Treballs de gabinet i de camp

Per a l'elaboració de l'estudi s'han realitzat les següents tasques:

- Revisió de la informació antecedent
- Campanya de Vol de drone per generació del model 3D
- Anàlisi i caracterització dels vessants de la zona d' estudi amb la finalitat d'obtenir
  - o Caracterització geomecànica del massís rocós
  - o Inventari de desprendiments i cicatrius
  - o Identificació d'indícis geomorfològics i estructurals de caiguda de blocs
  - o Estudi volumètric dels blocs caiguts
  - o Definició dels volums potencials de referència
- Modelització
  - o Caracterització de volumetries
  - o Caracterització del terreny
  - o Simulació dels escenaris definits
  - o Resultats de la simulació

- Determinació de la perillositat en els elements exposats amb l'objectiu de prioritzar les zones d'actuacions.
- Estudi d'alternatives de protecció. Inclou:
  - o Proposta i dimensionament dels dispositius de protecció, d'acord amb la seva relació seguretat/cost, sense arribar a la solució constructiva.
  - o Anàlisi de la perillositat residual
  - o Estimació del cost de la protecció
- Redacció de la memòria final, elaboració dels plànols i documents annexos

Pel que fa al vol de dron (RPAS), ha estat realitzat per l'empresa Terradron. S'han obtingut els següents productes:

- Model 3D (General)
- Model digital del terreny (MDT)
- Model Digital d'elevacions amb vegetació (MDE)
- Model Digital del Terreny i edificacions (MDT\_EDIF)
- Ortomosaic d'alta definició

Disposar d'aquests productes ha estat fonamental per als objectius del present treball, en la campanya de camp (especialment l'ortofoto de detall obtinguda), com per a efectuar els amidaments (a partir del model 3D), i per a les simulacions dels desprendiments (model digital del terreny mixte).

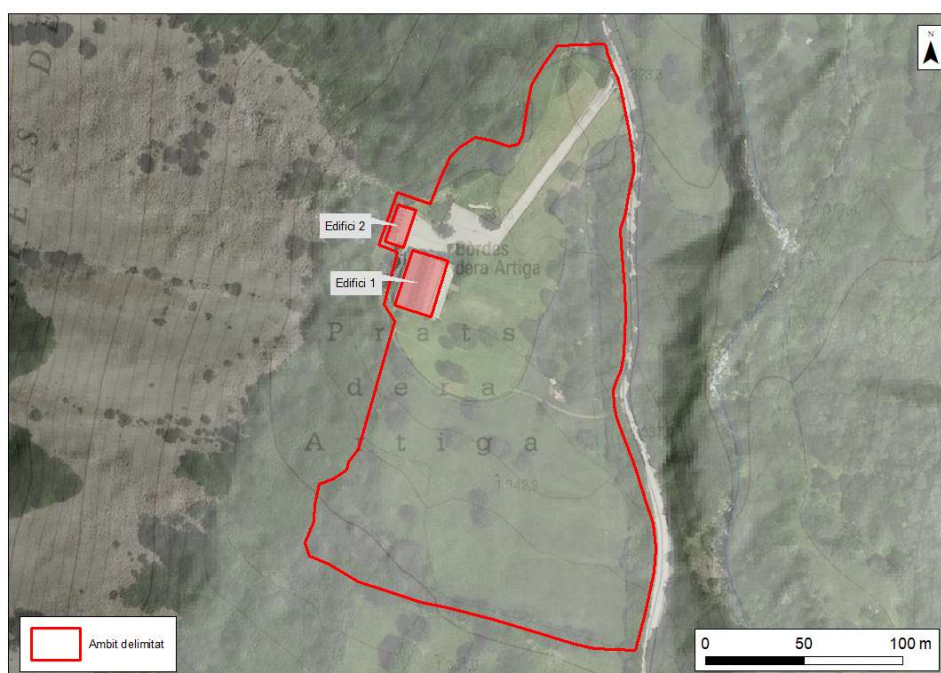


**Figura 1:** Imatge 3D obtinguda a partir del vol de dron.

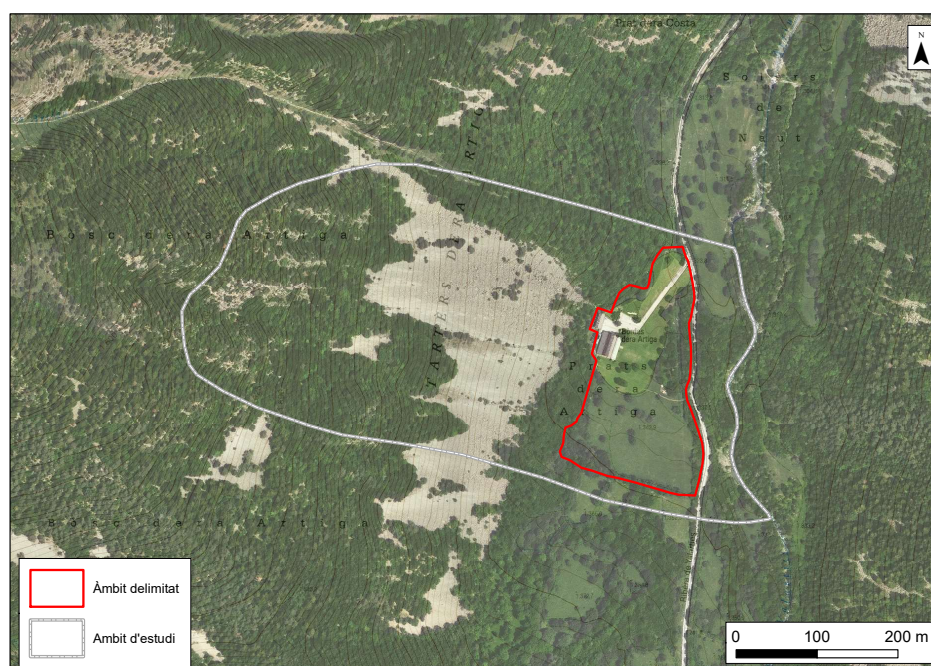
## 1.5 Àmbit d'estudi

L'àmbit delimitat de l'estudi de perillositat se situa al municipi de Naut Aran, comarca de la Val d'Aran, més concretament, als Prats dera Artiga, al peu de les tarteres del mateix nom, al marge esquerre del riu Valarties, a la Ribèra de Valarties (Figura 2). L'àrea de l'àmbit delimitat així definida té una extensió de l'ordre de 3,4 ha.

Per a la realització de l'estudi s'ha definit una àrea d'estudi que inclou l'àmbit d'estudi i el vessant adjacent (esquerre) de la vall, fins on s'ha considerat que pot ser origen de despreniments amb potencial per abastar l'àmbit delimitat. L'anàlisi del fenomen dins de l'àrea d'estudi ha proveït un considerable nombre de dades que es considera el caracteritzen suficientment.



**Figura 2.** Àmbit delimitat del Projecte d'Actuació Específica (PAE) de reforma i rehabilitació d'edificis existents per a implantació d'ús hotel·ler.



**Figura 3.** Àmbit d'estudi i àmbit delimitat



## 1.6 Context territorial

L'àmbit delimitat està ubicat al peu de les tarteres del mateix nom, a una cota de 1.335 m s.n.m., al marge esquerre del riu Valarties, a la Ribera de Valarties, a 3,5 km direcció sud, seguint la carretera que es converteix en la única via d'accés a la ubicació Figura 4.

L'àmbit d'estudi es troba situat sobre dipòsits col·luvials i al·luvials – torrencials, de baix pendent (al voltant dels 3°), al peu de vessants de forta inclinació (al voltant dels 35° de mitjana). A partir dels 1.800 m s.n.m., els pendents se suavitzen. Tanmateix, a ambdós costats de la vall, entre els 1.600 i els 1.700 m s.n.m. al vessant esquerre, i entre els 1.400 m i 1.500 m s.n.m. al vessant dret, hi ha una franja amb pendents que arriben puntualment a la verticalitat, corresponents a escarpaments rocosos.

El clima és oceànic, amb un règim pluviomètric equilibrat, que significa una regularitat en les precipitacions en les quatre estacions de l'any. La precipitació anual supera els 1.250 mm a les divisòries principals mentre que, al fons de la vall, la precipitació mitjana és de l'ordre dels 900 mm. Les temperatures hivernals són baixes, amb mitjanes de les mínimes per sota dels 0 °C al fons de vall i més extremes als cims, i els estius suaus, amb mitjanes de 17 °C a la vall i 14 °C a la muntanya. El període lliure de glaçades s'estén entre els mesos estivals: juny, juliol i agost (Servei Meteorològic de Catalunya).

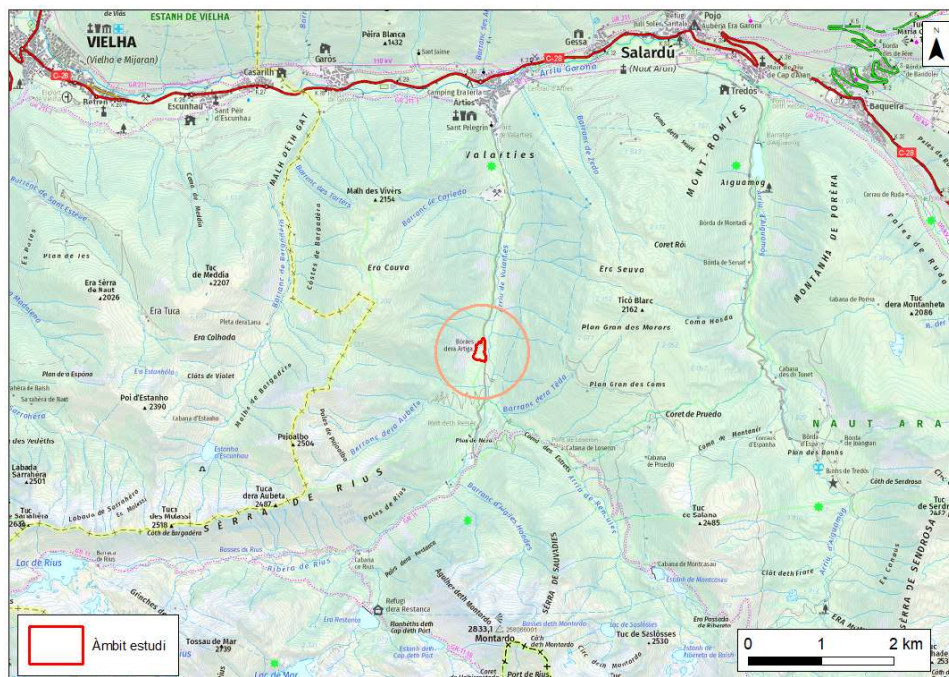
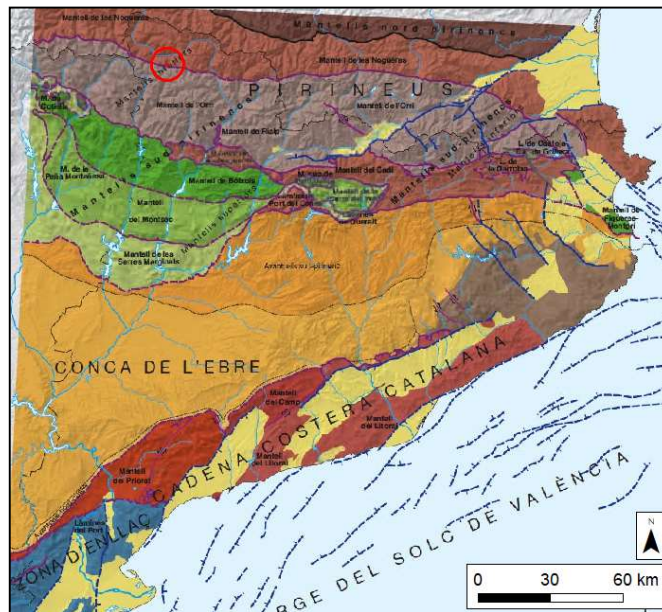


Figura 4: Mapa de situació de les Bordes dera Artiga. Mapa Topogràfic 1:50.000 de l'ICGC.

## 2 Geologia i geomorfologia

La zona d'estudi estructuralment forma part dels mantells de les Nogueres i de l'Orri, constituïts principalment per materials paleozoics. Es tracta d'una zona on afloren materials granítics emplaçats durant el carbonífer, entre materials sedimentaris cambroordovicians (Figura 5).



**Figura 5:** Mapa de les unitats estructurals de Catalunya. Font: Atles Geològic de Catalunya, 2010. Generalitat de Catalunya.

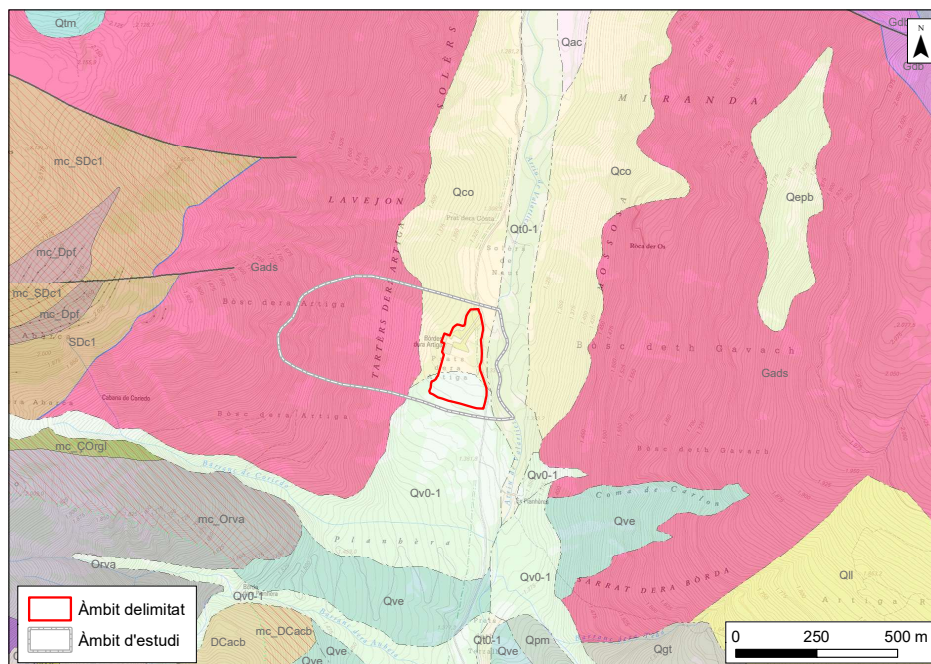
Segons el Mapa Geològic 1:50.000 de l'ICGC, els principals materials paleozoics que afloren, són (de base a sostre):

- **mc\_SDC1:** Marbres, fil·lites pigallades i quarzites. Roques de la unitat SDC1 afectades pel metamorfisme de contacte hercinià. Edat del metamorfisme: Carbonífer-Permià. Roques metamòrfiques associades a l'orogènia herciniana (metamorfisme regional de mig i alt grau i/o metamorfisme de contacte).
- **GaDs:** Quarsgabre amfibòlic i quarsdiorita. Carbonífer-Permià.
- **SDc1:** Calcàries grises amb intercalacions lutítiques, riques en chert. Calcària Basal. Silurià superior - Emsià.

Pel que fa al quaternari:

- **Qv0-1:** Clasts angulosos, sorres o llims. Ventalls al·luvials. Relacionats amb les terrasses 0 i 1. Holocè
- **Qt0-1:** Llit actual, plana d'inundació ordinària i terrassa més baixa (0-2 m). Holocè recent.
- **Qco:** Dipòsits col·luvials. Argiles amb còdols angulosos dispersos. Holocè.

L'àmbit delimitat, segons el mapa geològic 1:50.000, es troba situat sobre les unitats Qco al nord, i Qv0-1, al sud, mentre que a l'àmbit d'estudi hi aflora la unitat GaDs principalment.



**Figura 6:** Mapa Geològic 1:50.000 de l'àmbit delimitat (ICGC).

Geomorfològicament, la zona d'estudi és una zona de contacte entre els materials d'origen igni i materials sedimentaris paleozoics, que han sofert una gran deformació i estan afectats per metamorfisme regional i de contacte que pot arribar a ser molt intens. El contrast de les diverses litologies respecte a la resistència als agents erosius marquen a grans trets la morfoestructura de la zona. Aquí, els materials ignis (unitat GaDs), tenen un comportament resistent a l'erosió, donant lloc a relleus escarpats.

Als Pirineus, així com a totes les serralades que han estat ocupades per glaceres de vall durant el Pleistocè i que encara poden tenir-ne d'actuals, el modelat d'origen glacial és el factor més característic del relleu. Aquest modelat està constituït per tot un conjunt de formes d'erosió i de dipòsits que actualment es troben en vies de degradació per efecte, entre d'altres, dels processos periglacials, fluvio-torrencials i de vessant (moviments de massa).

El glaciariisme i periglaciariisme són processos morfogenètics fonamentals en el modelat de la zona d'estudi. Els elements bàsics del relleu deriven de l'acció erosiva de les masses de gel durant el Plistocè. El procés d'abrasió glacial ha deixat nombroses evidències de la seva activitat. Els cims situats a cotes per sobre de 2000 m estan delimitats per circs. Aquests deixen entre sí divisòries estretes i escarpades de tipus cresta, en l'evolució de les quals els processos de gelifracció periglacial han jugat un paper important. També són freqüents les depressions de sobreexcavació, encaixades per sota del nivell de fons dels circs i que freqüentment inclouen estanys al seu interior, tancats per llindars rocosos, Solen ser de morfologies subcirculars. Altres elements morfològics característics són les valls en artesa. Els dipòsits glaciaris tenen una gran extensió, principalment les morenes de fons i fronts morènics. S'han desenvolupat durant la fase de màxim glacial, i al llarg dels diferents moments d'estabilització ocorreguts en el procés de retirada dels gels.

Als vessants es produeix gelifracció, procés que dona lloc a les tarteres existents a cotes altes (Qepb). En zones menys elevades i de naturalesa pissarroso-quarsítica, són freqüents els col·luvions de blocs, que poden tenir importants gruixos (Qco).

El modelat fluvial de la zona d'estudi s'estableix en èpoques molt recents, ja que la seva progressió és sincrònica amb el retrocés generalitzat de les glaceres que ocupaven les valls durant les etapes àlgides de la darrera glaciació. Són molt abundants els cons de dejecció (Qve) que han desenvolupat els barrancs afluent de les valls principals a la confluència, a conseqüència del descens brusc del pendent a l'arribar-hi.

Cal fer esment també que, malgrat el mapa geològic 1:50.000 mostra la disposició de la litologia del substrat paleozoic aquest, en gran part, es troba cobert per una formació superficial (till, sòl edàfic, material esllavissat antic, dipòsits col·luvials en general) de potència variable d'ordre mètric, especialment quan el pendent és inferior a 45°.

### **3 Caracterització de la dinàmica de desprendiments**

La caracterització de la dinàmica de desprendiments s'ha realitzat a partir dels estudis estructural i geomorfològic del massís rocós i de tota l'àrea susceptible de sortida, trajecte i arribada de desprendiments.

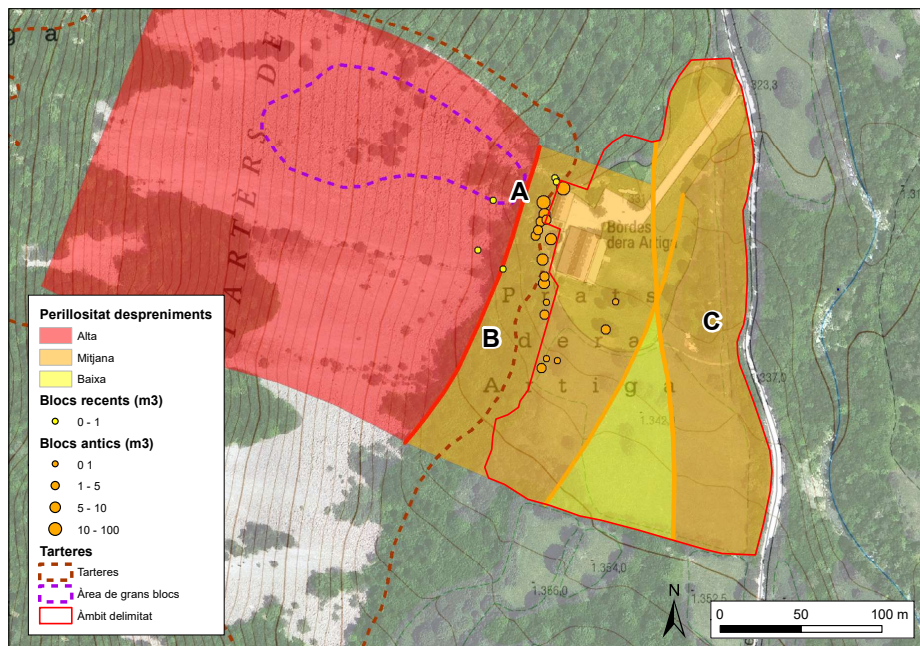
#### **3.1 Dinàmica de desprendiments en l'àmbit d'estudi**

L'àmbit delimitat es troba situat al peu d'una tartera constituïda per blocs de desprendiments provinents dels escarpament superiors, de la unitat GaDs (Quarsgabre amfibòlic i quarsdiorita del Carbonífer-Permià).

En l'estudi precedent, "Estudi d'Identificació de Riscos Geològics (EIRG) en l'àmbit del PAE de l'Artiga a Valarties, municipi de Naut Aran (Val d'Aran)", es van observar blocs probablement d'antics desprendiments, amb arribada més enllà dels edificis existents en l'àmbit delimitat. Inclús l'edifici existent 2, es troba construït sobre un gran bloc. Es van observar també nombrosos blocs de desprendiments recents a la tartera, alguns dels quals amb arribada molt propera als edificis.

Per tant, la dinàmica de desprendiments hi és activa, posada de manifest pels indicis de desprendiments recents: impactes, fragments de blocs i cicatrius recents.

A partir de l'inventari de blocs observats antics i recents, i amb l'aplicació dels angles d'abast característics, en l'EIRG antecedent es va determinar una perillositat mitjana al sector occidental de l'àmbit delimitat, zona on s'ubiquen els edificis existents 1 i 2, pels desprendiments provinents dels escarpaments del vessant oest (esquerre) de la vall. També es va assignar perillositat mitjana per desprendiments al sector est de l'àmbit d'estudi per la possibilitat de grans desprendiments provinents del vessant est (dreta) de la vall, tal com es va observar a les ortoimatges de 1945. Tanmateix, en aquest cas, s'ha considerat que es tracta d'un fenomen únic i que a més, no afectaria a elements d'ocupació permanent, com poden ser els edificis. Per aquest motiu, aquesta zona no és objecte del present estudi de detall.



**Figura 7:** Perillositat per desprendiment definida en l'EIRG anterior (GNR-230902).

### 3.2 Anàlisi estructural

Tal com es descriu al punt 2, l'àmbit de projecte està ubicat sobre material del Carbonífer, Quarsgabre amfibòlic i quarsdiorita, a la part superior del vessant que correspon a l'àrea de sortida dels desprendiments i, a la part baixa, hi afloren materials quaternaris, formats per ventalls al·luvials i dipòsits col·luvials.

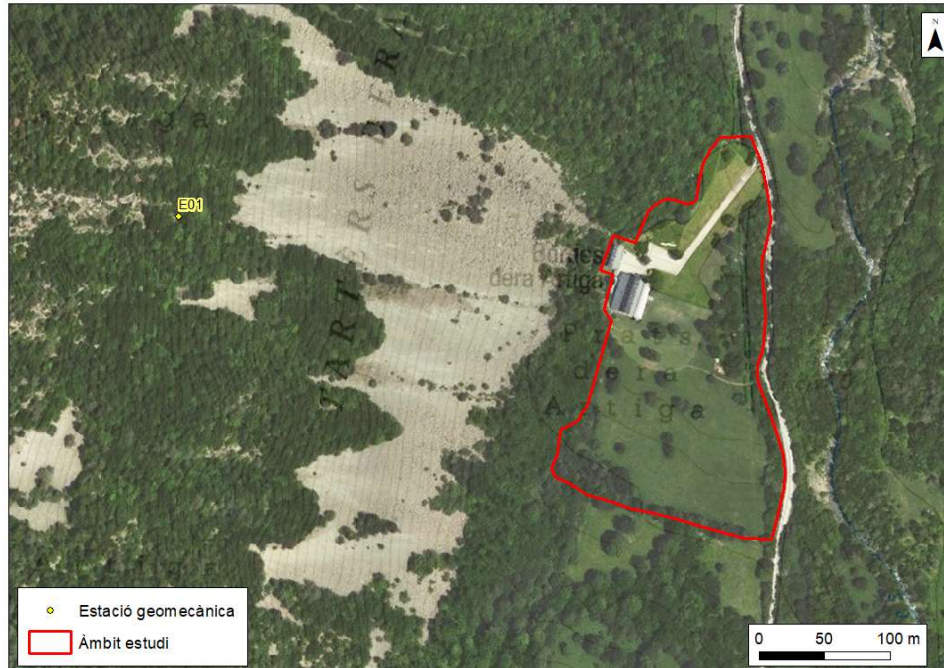
**Taula 1.** Propietats geotècniques bàsiques dels materials font de desprendiments. Valors típics (Gonzalez de Vallejo, 2004<sup>1</sup>).

<b>Roca</b>	<b>Pes específic (g/cm<sup>3</sup>)</b>
<b>Quarsdiorita</b>	2,6 – 2,8
<b>Quarsgabre</b>	2,7 – 2,9

<sup>1</sup> González de Vallejo, L., Ferrer, M., Ortuño, L., Oteo, C. (2006). Ingeniería Geológica. Pearson Prentice Hall.

### 3.2.1 Estació geomecànica

S'ha realitzat 1 estació geomecànica (E01, Annex 1) a l'escarpament situat sobre la tartera, amb l'objectiu de caracteritzar el massís. S'hi ha trobat 4 famílies de discontinuïtats, 3 de les quals són juntes i 1 de tipus falla.



**Figura 8.** Punt de mesura de l'estació geomecànica.

### 3.2.2 Anàlisi geomecànica

Per a la caracterització geomecànica, s'ha aplicat la classificació RMR (Bieniawski, 1973<sup>2</sup>), que té en compte els següents paràmetres geomecànics:

- Resistència uniaxial de la matriu rocosa
- Grau de fracturació en termes de l'RQD (Rock Quality Designation)
- Espaiat de les discontinuïtats
- Condicions de les discontinuïtats

---

<sup>2</sup> Bieniawski, Z. T. (1973). Engineering classification of jointed rock masses. Transactions, South African Inst. of Civil Engineers, vol. 15, nº 12, pp.335-344.

- Condicions hidrogeològiques
- Orientació de les discontinuïtats respecte al talús

La incidència d'aquests paràmetres en el comportament geomecànic d'un massís s'expressa mitjançant l'índex de qualitat RMR (Rock Mass Rating), que varia de 0 a 100.

Malgrat la classificació RMR no aporta informació directa sobre la dinàmica de desprendiments al massís, sí que ens permet caracteritzar-la geotècnicament i estimar la seva estabilitat i resistència.

La qualitat mitjana del massís en els punts on s'han efectuat les estacions completes, directament sobre el terreny, és **bona** (II; Taula 2).

**Taula 2.** Classificació RMR del massís rocós segons l'estació 1.

<b>CLASSIFICACIÓ RMR DEL MASSÍS ROCÓS</b>					
	RMR	CLASSE	Qualitat	Cohesió	Angle
<i>Valor Max</i>	<b>65</b>	<b>II</b>	<b>Bona</b>	3-4 Kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°
<i>Valor Min</i>	<b>62</b>	<b>II</b>	<b>Bona</b>	3-4 Kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°
<i>Valor Mig</i>	<b>64</b>	<b>II</b>	<b>Bona</b>	3-4 Kg/cm <sup>2</sup>	35°-45°

### 3.3 Anàlisi geològica-geomorfològica

L'objectiu d'aquesta fase ha estat la cerca d'informació que permetés caracteritzar la dinàmica de desprendiments a partir de la identificació del fenomen sobre el terreny i dels indicis generats en la seva activitat, amb l'objectiu d'obtenir la relació magnitud-freqüència característica del vessant, bàsica per a poder estimar la perillositat.

Per això s'ha analitzat:

1. Blocs despresos recents i antics
2. Cicatrius d'esdeveniments recents



### 3.3.1 Inventari de blocs despresos

Durant la visita de camp, s'ha realitzat un inventari de blocs caiguts recents per disposar d'informació del conjunt de blocs distribuïts a la tartera. Durant la visita de camp, en total s'han inventariat 43 blocs. Posteriorment, sobre la fotografia de tres dimensions d'alta resolució, realitzada amb el vol de dron, s'han mesurat els blocs de grans dimensions emplaçats a la tartera. En total s'han considerat 141 grans blocs antics, fent un total de 184 blocs (43 recents i 141 antics; Figura 9).

En concret, els blocs s'han classificat segons:

- Blocs **molt recents**: Blocs de to clar, amb cantells vius, que denota caiguda recent, probablement inferior als 10-15 anys. En total s'han identificat 43 blocs molt recents.
- Blocs **antics**: aquells que presenten una tonalitat grisenca fosca i es troben espargits per la tartera. Tots aquests blocs han estat observats i identificats mitjançant l'ortoimatge d'alta resolució. Aquests blocs es relacionen amb despreniments antics, s'estimen caiguts durant els darrers 2.000 anys. S'han mesurat 141 blocs antics.

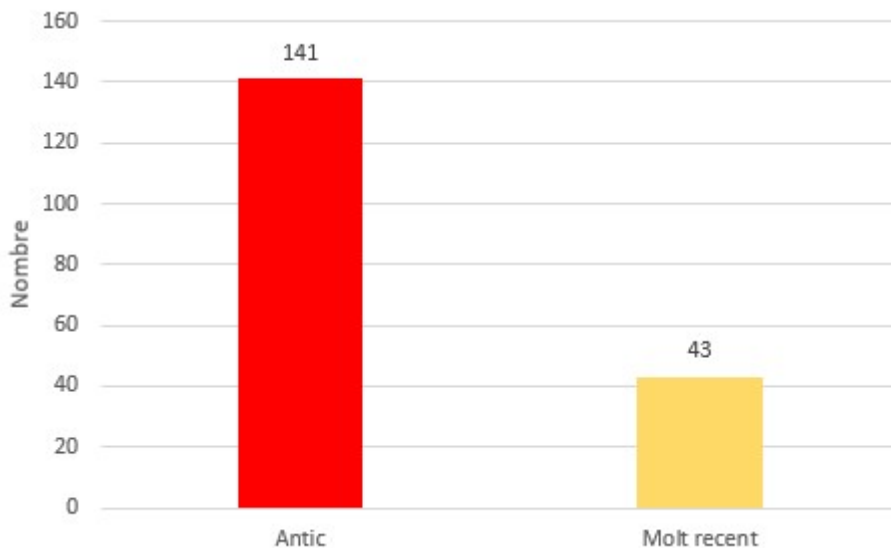
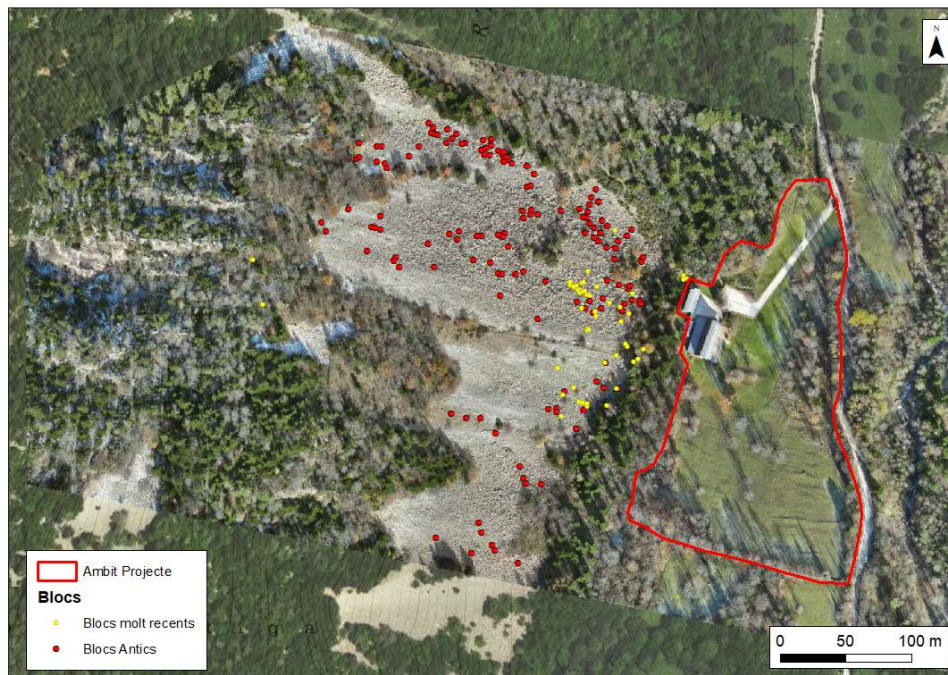


Figura 9. Edats relatives atribuïdes als blocs inventariats



**Figura 10.** Emplaçament dels blocs molt recents i antics localitzats.

Per a cadascun dels blocs molt recents s'ha pres les següents dades:

1. Codi
2. Data de registre
3. Coordenades
4. Litologia
5. Edat
6. Data de caiguda
7. Forma
8. Mida, segons els eixos X, Y i Z (en cm)
9. Observacions rellevants

I pels blocs antics, s'ha mesurat:

1. Coordenades
2. Mida, segons els eixos X, Y i Z (en cm)

L'inventari de blocs molts recents i antics, s'adjunta a l'annex 2.

El volum dels blocs s'ha obtingut a partir de la mesura dels 3 eixos x, y, z, considerant la longitud mitjana de cadascun d'ells.

En relació a les formes dels blocs molt recents, s'observa com en aquests blocs dominen formes complexes.

### 3.3.2 Cicatrius

Una font de dades a partir de les quals obtenir estimacions de mida i de freqüència de masses despreses, és fer un inventari d'esdeveniments, a partir de les cicatrius de desprendiments recents observades al front de l'escarpament. L'estudi del vessant i de les diferents imatges frontals i zenitals d'alta definició permet diferenciar 13 cicatrius als diferents ressalls rocosos (Figura 11).



**Figura 11.** Emplaçament de les cicatrius als escarpaments.

Mitjançant el model 3D efectuat amb el dron, ha estat possible fer una mesura aproximada de les dimensions de les diferents cicatrius.

**Taula 3.** Dimensions de les cicatrius mesurades

CICATRIU	X (CM)	Y (CM)	Z (CM)
1	420	120	100
2	520	310	280

<b>CICATRIU</b>	<b>X (CM)</b>	<b>Y (CM)</b>	<b>Z (CM)</b>
<b>3</b>	570	460	100
<b>4</b>	550	180	110
<b>5</b>	360	170	110
<b>6</b>	480	419	100
<b>7</b>	560	230	170
<b>8</b>	560	530	160
<b>9</b>	170	450	70
<b>10</b>	460	550	120
<b>11</b>	150	340	100
<b>12</b>	210	160	80
<b>13</b>	180	230	100

Als desprendiments vinculats a les cicatrius registrades, se'ls hi assigna un escala temporal de 50 anys.

Els volums considerats a partir de les cicatrius es consideren associats a masses de sortida despreses amb una edat recent, i no a blocs individuals despresos. Aquestes masses, en el transcurs de la caiguda, es fragmentaran en blocs.

## 4 Anàlisi d'indicadors i de l'activitat observada

Per a obtenir la perillositat és necessari conèixer la relació magnitud-freqüència d'ocurrència de desprendiments característica de l'àmbit de projecte. Per a trobar la relació magnitud-freqüència (McF), on la freqüència acumulada és valorada en termes espacials i temporals, els inventaris de desprendiments, o indicadors de desprendiments, són la font de dades per a obtenir aquest objectiu. Tota informació d'esdeveniments que pugui ser quantificada pot ajudar a obtenir una corba més ajustada.

Així doncs, a partir de l'anàlisi de la informació d'inventari recopilada, s'han obtingut les variables necessàries per a establir els valors de freqüència i magnitud, necessàries per a estimar la perillositat.

Per a fer aquest anàlisi i poder comparar conjunts de dades obtingudes en diferents fonts, és necessari normalitzar-les. D'aquesta manera s'obté el nombre de desprendiments ocorreguts per unitat espacial ( $hm^2$ ) i per unitat de temps (any). Aquesta relació s'expressa en forma de llei potencial inversa (Hanz et al. 2014<sup>3</sup>):

$$F_{st} = A_{st} \cdot V^{-B}$$

On:

$F_{st}$  és la freqüència espacio-temporal d'esdeveniments.

El factor  $A_{st}$  és l'activitat nominal i es relaciona amb les condicions geodinàmiques ambientals;

L'exponent  $B$  és el coeficient d'uniformitat relacionat amb les condicions geomecàniques del massís rocós. Els valors varien entre 0,4 i 0,8.

---

<sup>3</sup> Hanz, D., Rossetti, J. P., Servant, F., D'Amato, J. (2014). Etude de la Distribution des blocs dans un éboulement pour l'évaluation de l'aléa. Rock Slope Stability 2014. Marakesh – Maroc, 2 au 4 Avril 2014.

Aquesta llei s'ajusta tant per a masses despreses com per a blocs caiguts, resultat de la fragmentació de les masses despreses (Hanz et al., 2020<sup>4</sup>). S'expressa aleshores per:

$$f_{st} = a_{st} \cdot V^{-b}$$

Pels blocs, el coeficient d'uniformitat,  $b$ , és generalment més gran que pels desprendiments, amb valors entre 0,5 i 1,5.

La llei potencial que s'obté per aquest mètode, que dona la freqüència acumulada en funció del volum, és vàlida per diferents ordres de magnitud. És possible doncs extrapolar aquesta llei per estimar les freqüències corresponents a volums més petits o més grans que els observats.

#### 4.1 Blocs

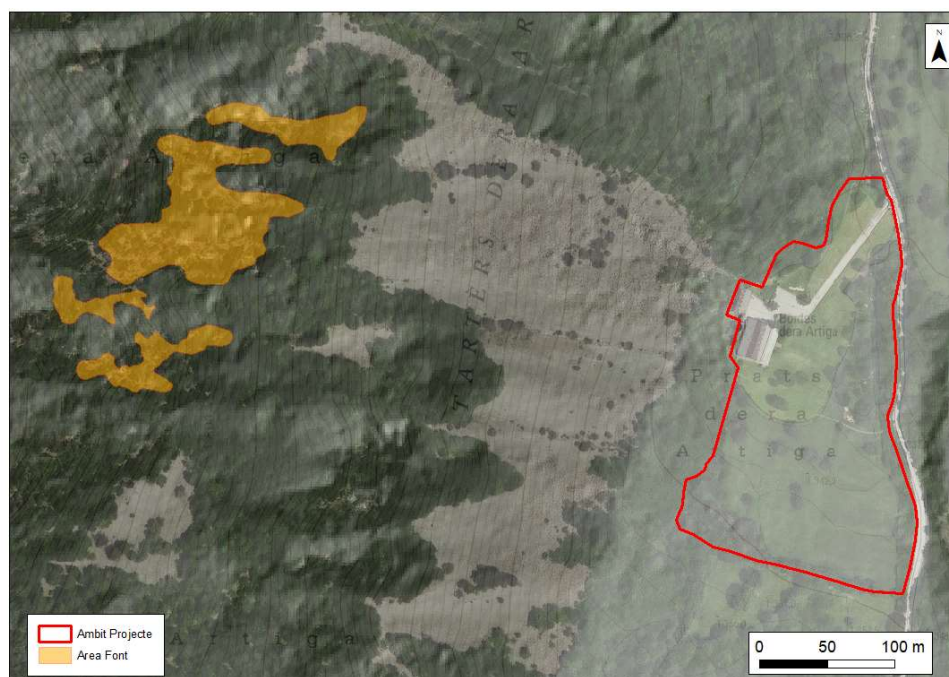
S'ha diferenciat 3 mostres de blocs classificats com (veure 3.3):

- Molt recents: a partir de blocs inventariats a la tartera durant la visita de camp.
- Recents: interpretats a partir de les cicatrius observades als escarpaments generadors dels desprendiments.
- Antics: a partir de blocs inventariats a la tartera mitjançant fotointerpretació.

La font de desprendiment que es considera per a tots els blocs, correspon als escarpaments de forts pendents, majors a 45°, situats per sobre de la tartera, entre la cota 1.500 i 1.710m. La superfície de l'àrea font dels desprendiments considerada, és d'aproximadament 13.700 m<sup>2</sup> (1,37 hm<sup>2</sup>).

---

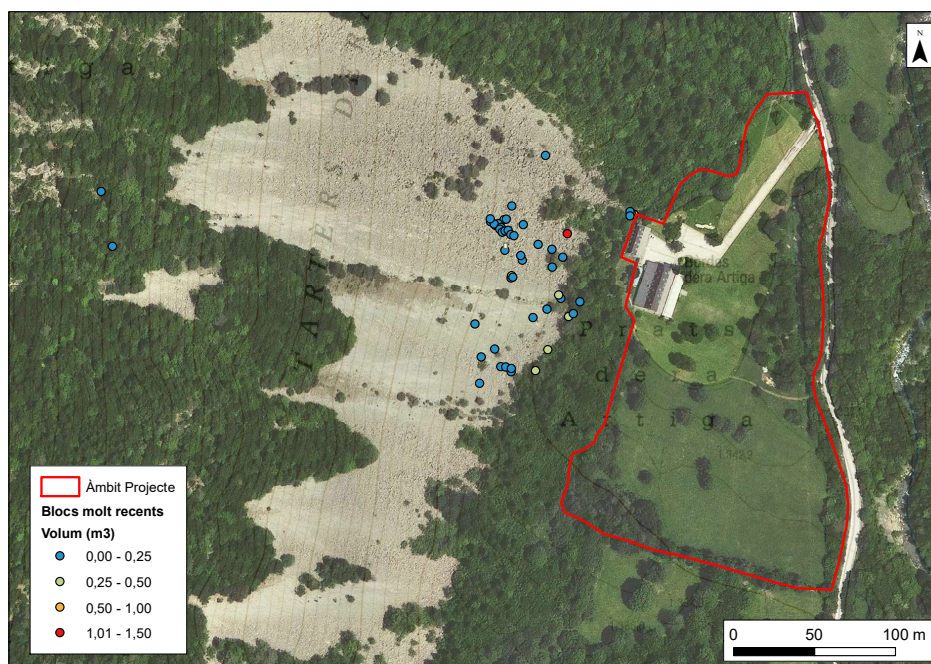
<sup>4</sup> Hanz, D., Colas, B., Dewez, T., Lévy, C., Rossetti, J. P., Guerin, A., Jaboyedoff, M. (2020). Caractérisation quantitative des aléas rocheux de départ diffus. Rev. Fr. Geotech. 2020, 163, 2.



**Figura 12.** Representació de l'àrea font de desprendiments.

#### **4.1.1 Blocs molt recents**

Aquesta tipologia de blocs, correspon als blocs amb indicis considerats de caiguda molt recent, en total 43 blocs (Taula 4). Aquests blocs han estat identificats durant la visita de camp, i presenten indicis d'activitat recent, per tant es considera un període temporal de 10 anys.



**Figura 13.** Distribució volumètrica dels blocs molt recents identificats a camp.



**Figura 14.** Impacte de bloc sobre la tartera, molt recent, amb fragmentació.

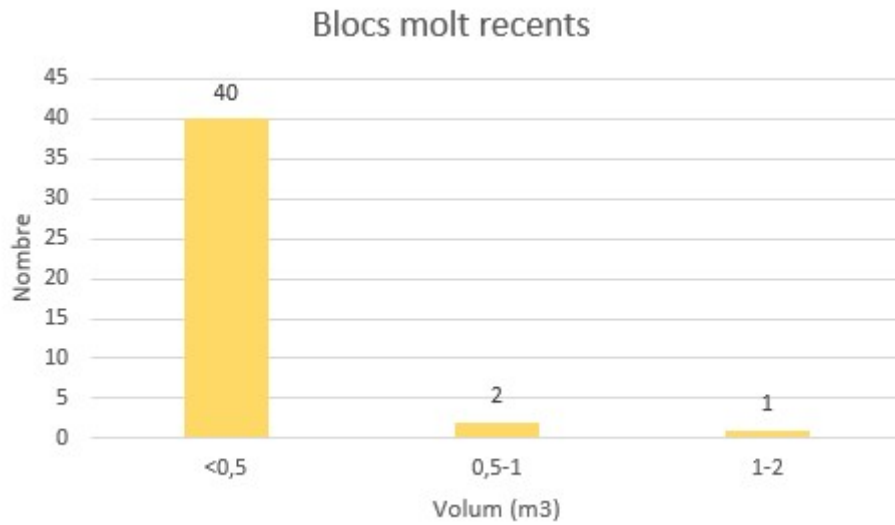




**Figura 15.** Detall de la part distal de la tartera, on s'observen alguns dels blocs molt recents inventariats.

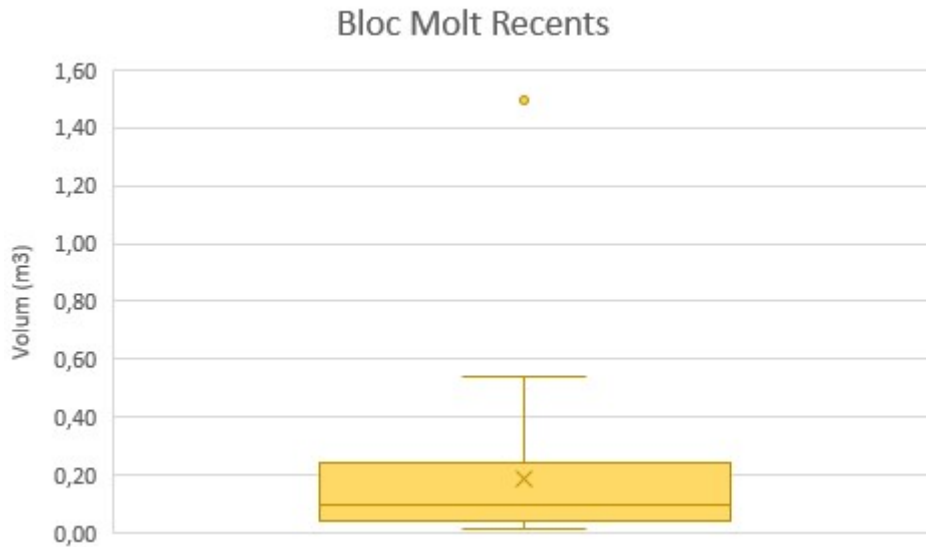


**Figura 16.** Exemple de bloc d'ordre mètric fragmentat, identificat com a molt recent.



**Figura 17.** Classificació dels blocs molt recents identificats a camp, segons el volum.

El bloc molt recent de mida màxima observada és 1,5m<sup>3</sup>, el mínim és de 0,01m<sup>3</sup> i la mitjana dels blocs molt recents és de 0,18m<sup>3</sup>.



**Figura 18.** Distribució de caixa i bigotis dels volums dels blocs molt recents.

**Taula 4.** Blocs molts recents

V (m3)	N	Fst ((hm-2any-1))	V (m3)	N	Fst ((hm-2any-1))
1,50	1	0,072993	0,54	2	0,145985

V (m3)	N	Fst ((hm-2any-1))	V (m3)	N	Fst ((hm-2any-1))
0,53	3	0,218978	0,07	24	1,751825
0,42	4	0,291971	0,06	25	1,824818
0,36	5	0,364964	0,06	26	1,89781
0,36	6	0,437956	0,06	27	1,970803
0,36	7	0,510949	0,05	28	2,043796
0,35	8	0,583942	0,05	29	2,116788
0,34	9	0,656934	0,05	30	2,189781
0,25	10	0,729927	0,04	31	2,262774
0,24	11	0,80292	0,04	32	2,335766
0,24	12	0,875912	0,04	33	2,408759
0,22	13	0,948905	0,04	34	2,481752
0,19	14	1,021898	0,04	35	2,554745
0,17	15	1,094891	0,03	36	2,627737
0,17	16	1,167883	0,03	37	2,70073
0,16	17	1,240876	0,03	38	2,773723
0,16	18	1,313869	0,03	39	2,846715
0,12	19	1,386861	0,02	40	2,919708
0,11	20	1,459854	0,02	41	2,992701
0,11	21	1,532847	0,02	42	3,065693
0,10	22	1,605839	0,01	43	3,138686
0,09	23	1,678832			

### Blocs molt recents

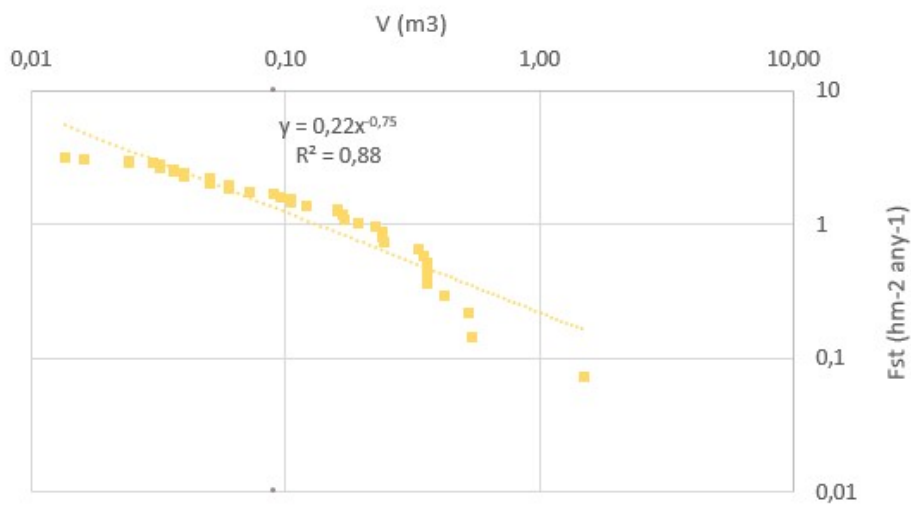
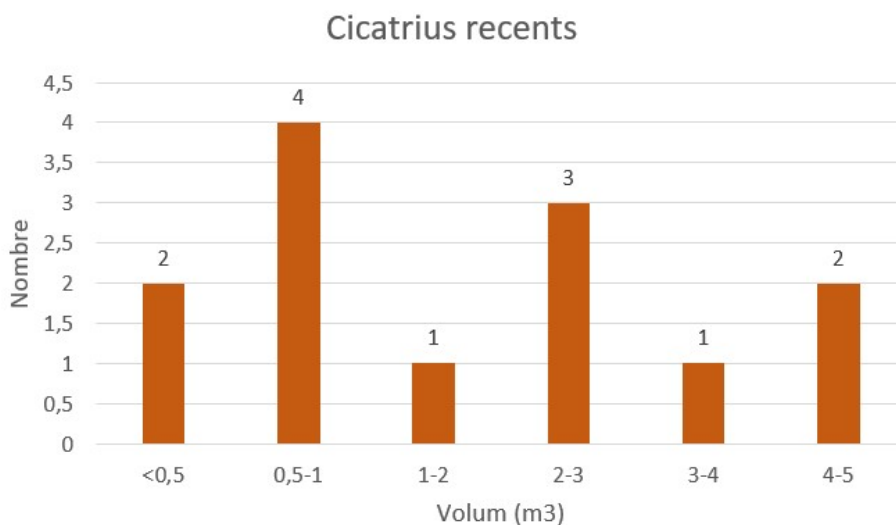


Figura 19. Ajust obtingut a partir dels blocs molt recents.

A partir dels 43 blocs observats és possible obtenir una línia de tendència potencial. Amb aquesta s'obté una corba ajustada amb uns valors  $a=0,22$  i  $b=0,75$  (Figura 19). Els punts es troben ben ajustats a la corba de tendència, tant sols els volums inferiors a  $0,02 \text{ m}^3$ , amb una tendència horitzontal, es distancien de la corba a la part baixa, i per altra banda, els volums superiors a  $0,36 \text{ m}^3$ , també es troben allunyats de la corba de tendència.

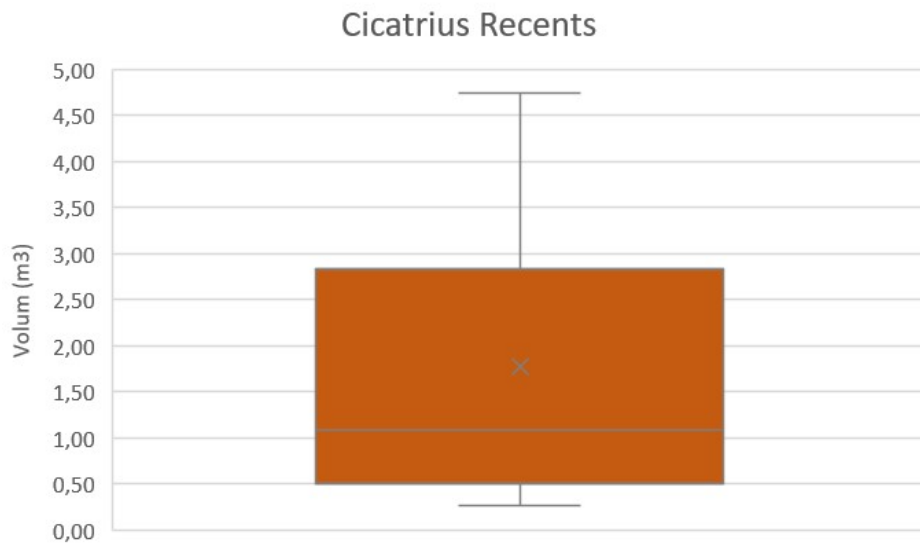
#### 4.1.2 Cicatrius recents

Correspon a diverses cicatrius de desprendiments, localitzades als escarpaments del vessant, en concret 13 cicatrius. Aquestes s'han identificat durant els treballs de camp i una posterior interpretació del model 3D d'alta definició realitzat amb vol dron. El període temporal considerat per aquests fenòmens és de 50 anys. L'àrea font considerada dels desprendiments és la mateixa que pels blocs molt recents, amb una superfície d'aproximadament,  $1,37 \text{ hm}^2$ .



**Figura 20.** Classificació de les dimensions de les cicatrius.

A la cicatriu mida màxima observada li correspon un volum de  $4,75 \text{ m}^3$ , mentre que el volum mínim associat és de  $0,27 \text{ m}^3$ , i el mitjà és de  $1,78 \text{ m}^3$ .



**Figura 21.** Distribució de caixa i bigotis dels volums associats a les cicatrius.

**Taula 5.** Cicatrius considerades recents

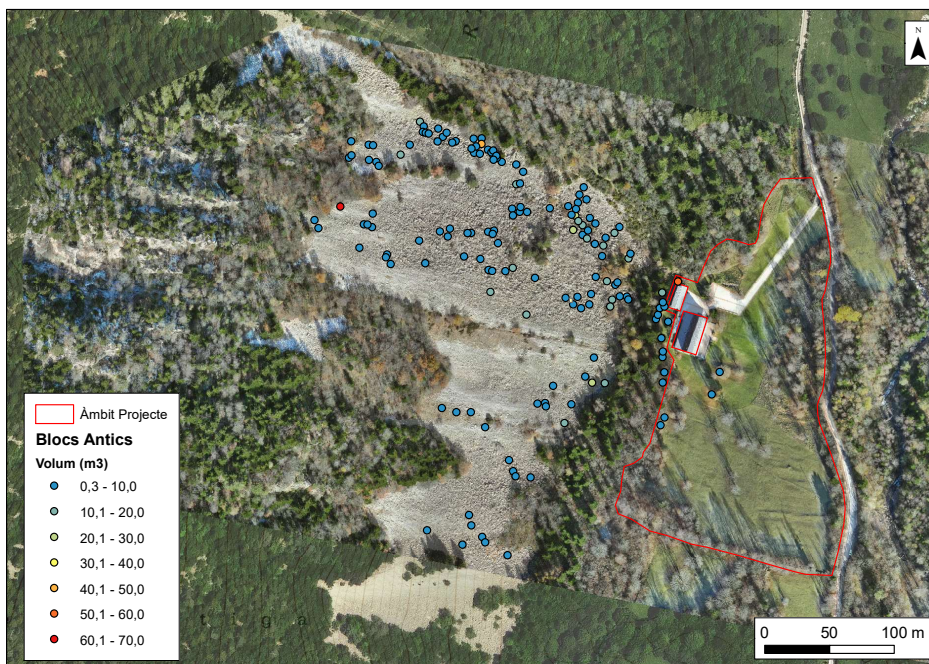
<b>V (m3)</b>	<b>N</b>	<b>Fst ((hm-2any-1))</b>
<b>4,75</b>	1	0,014599
<b>4,51</b>	2	0,029197
<b>3,04</b>	3	0,043796
<b>2,62</b>	4	0,058394
<b>2,19</b>	5	0,072993
<b>2,01</b>	6	0,087591
<b>1,09</b>	7	0,10219
<b>0,67</b>	8	0,116788
<b>0,54</b>	9	0,131387
<b>0,51</b>	10	0,145985
<b>0,50</b>	11	0,160584
<b>0,41</b>	12	0,175182
<b>0,27</b>	13	0,189781

En el cas de les cicatrius, s'ha obtingut la mesura del volum associat a la massa caiguda, i no del bloc caigut, com és el cas dels blocs molt recents i antics. Donat que no es disposa del volum dels blocs caiguts associats a aquestes masses com a resultat de la fragmentació, que el número de mostres és petit en comparació amb la resta de dades, i que possiblement coincideixen temporalment amb alguns dels blocs recents observats,

s'ha considerat que aquest és un conjunt de dades poc precises que no aporten informació addicional i que es tracta d'informació redundant. Per aquest motiu, no s'han usat en el tractament estadístic.

#### 4.1.3 Blocs antics

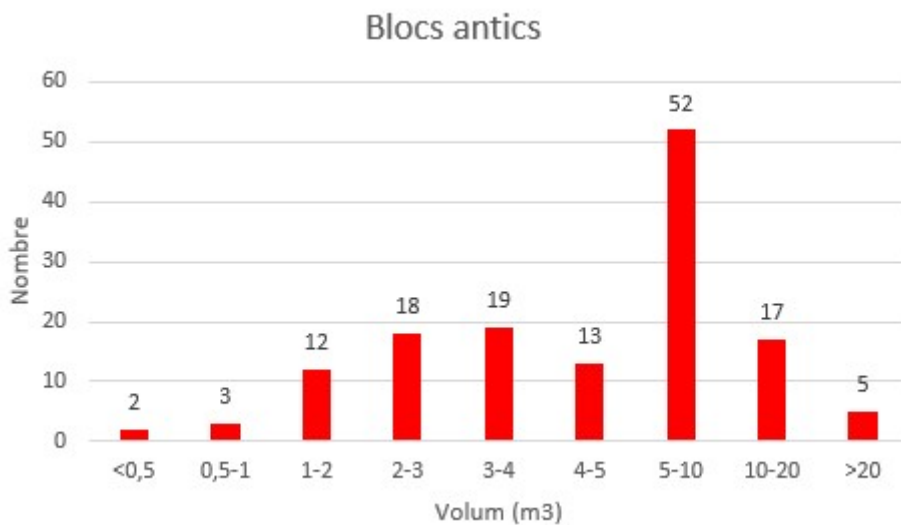
Aquí s'ha utilitzat tota la mostra de blocs classificats com a antics, en concret, 141 blocs que s'han identificat sobre la ortoimatge d'alta qualitat realitzada amb vol de dron. S'ha pogut mesurar la majoria de blocs de grans dimensions que es trobaven en superfície, és a dir, que en cap cas es pot mesurar i identificar blocs de grans dimensions que hagin quedat sepultats per altres blocs més recents. A aquests blocs, se'ls hi assigna un període temporal de 2.000 anys, període en que s'estima que quedaria coberta la capa de blocs superficial de la tartera.



**Figura 22.** Distribució volumètrica dels blocs antics identificats sobre la ortoimatge d'alta resolució.



**Figura 23.** Imatge de la tartera on s'observa els blocs antics. Destaquen els de mides grans, distribuïts principalment als 2/3 inferiors de la tartera.



**Figura 24.** Classificació dels blocs antics identificats segons el volum.

El bloc antic de mida màxima observada és de 61,0m<sup>3</sup>, el mínim és de 0,29m<sup>3</sup> i la mitjana dels blocs antics és de 6,77m<sup>3</sup>.

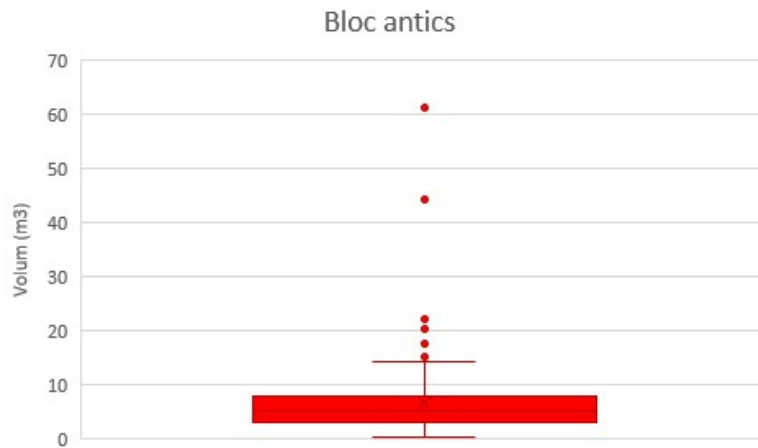


Figura 25. Distribució de caixa i bigotis dels volums dels blocs antics.

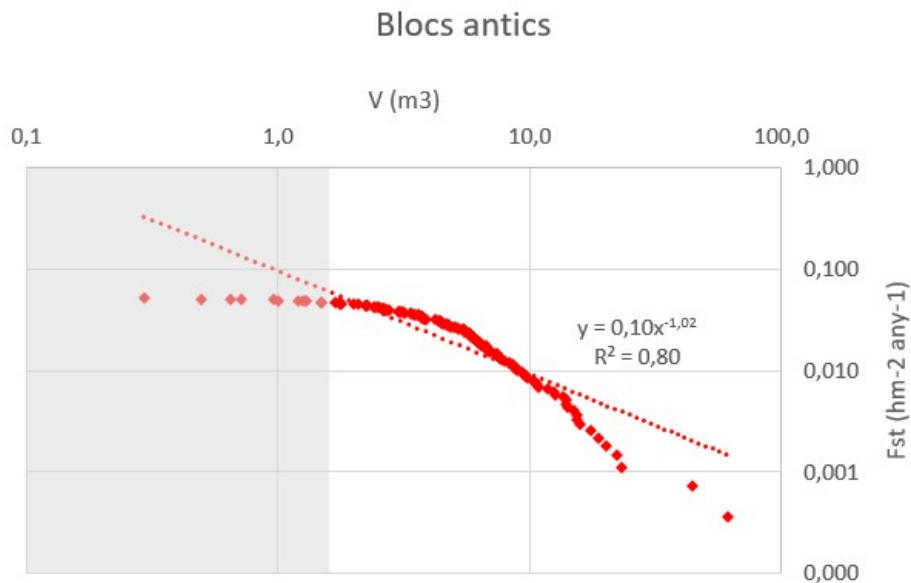
Taula 6. Blocs antics

<i>V (m3)</i>	<i>N</i>	<i>Fst ((hm-2any-1))</i>	<i>V (m3)</i>	<i>N</i>	<i>Fst ((hm-2any-1))</i>
61,1	1	0,000	8,9	29	0,011
44,2	2	0,001	8,7	30	0,011
23,3	3	0,001	8,7	31	0,011
22,1	4	0,001	8,5	32	0,012
20,3	5	0,002	8,3	33	0,012
18,7	6	0,002	8,0	34	0,012
17,6	7	0,003	7,8	35	0,013
15,9	8	0,003	7,6	36	0,013
15,5	9	0,003	7,6	37	0,014
15,4	10	0,004	7,5	38	0,014
15,0	11	0,004	7,4	39	0,014
14,1	12	0,004	7,4	40	0,015
14,0	13	0,005	7,2	41	0,015
14,0	14	0,005	6,9	42	0,015
13,7	15	0,005	6,9	43	0,016
12,7	16	0,006	6,8	44	0,016
12,6	17	0,006	6,7	45	0,016
11,9	18	0,007	6,7	46	0,017
10,9	19	0,007	6,7	47	0,017
10,7	20	0,007	6,7	48	0,018
10,6	21	0,008	6,5	49	0,018
10,4	22	0,008	6,5	50	0,018
9,8	23	0,008	6,4	51	0,019
9,7	24	0,009	6,3	52	0,019
9,6	25	0,009	6,3	53	0,019
9,5	26	0,009	6,2	54	0,020
9,3	27	0,010	6,1	55	0,020
8,9	28	0,010	6,1	56	0,020



<i>V (m3)</i>	<i>N</i>	<i>Fst ((hm-2any-1))</i>	<i>V (m3)</i>	<i>N</i>	<i>Fst ((hm-2any-1))</i>
6,0	57	0,021	3,2	102	0,037
5,9	58	0,021	3,1	103	0,038
5,9	59	0,022	3,0	104	0,038
5,9	60	0,022	3,0	105	0,038
5,8	61	0,022	3,0	106	0,039
5,8	62	0,023	2,8	107	0,039
5,7	63	0,023	2,7	108	0,039
5,7	64	0,023	2,7	109	0,040
5,7	65	0,024	2,7	110	0,040
5,5	66	0,024	2,7	111	0,041
5,5	67	0,024	2,6	112	0,041
5,5	68	0,025	2,6	113	0,041
5,5	69	0,025	2,6	114	0,042
5,4	70	0,026	2,5	115	0,042
5,2	71	0,026	2,5	116	0,042
5,2	72	0,026	2,4	117	0,043
5,1	73	0,027	2,4	118	0,043
5,0	74	0,027	2,3	119	0,043
4,8	75	0,027	2,3	120	0,044
4,8	76	0,028	2,2	121	0,044
4,8	77	0,028	2,2	122	0,045
4,7	78	0,028	2,1	123	0,045
4,7	79	0,029	2,0	124	0,045
4,6	80	0,029	1,8	125	0,046
4,5	81	0,030	1,8	126	0,046
4,5	82	0,030	1,8	127	0,046
4,5	83	0,030	1,8	128	0,047
4,4	84	0,031	1,7	129	0,047
4,4	85	0,031	1,5	130	0,047
4,3	86	0,031	1,5	131	0,048
4,2	87	0,032	1,3	132	0,048
3,9	88	0,032	1,3	133	0,049
3,8	89	0,032	1,3	134	0,049
3,8	90	0,033	1,2	135	0,049
3,8	91	0,033	1,0	136	0,050
3,7	92	0,034	1,0	137	0,050
3,7	93	0,034	0,7	138	0,050
3,7	94	0,034	0,6	139	0,051
3,7	95	0,035	0,5	140	0,051
3,6	96	0,035	0,3	141	0,051
3,6	97	0,035			
3,5	98	0,036			
3,5	99	0,036			
3,4	100	0,036			
3,4	101	0,037			

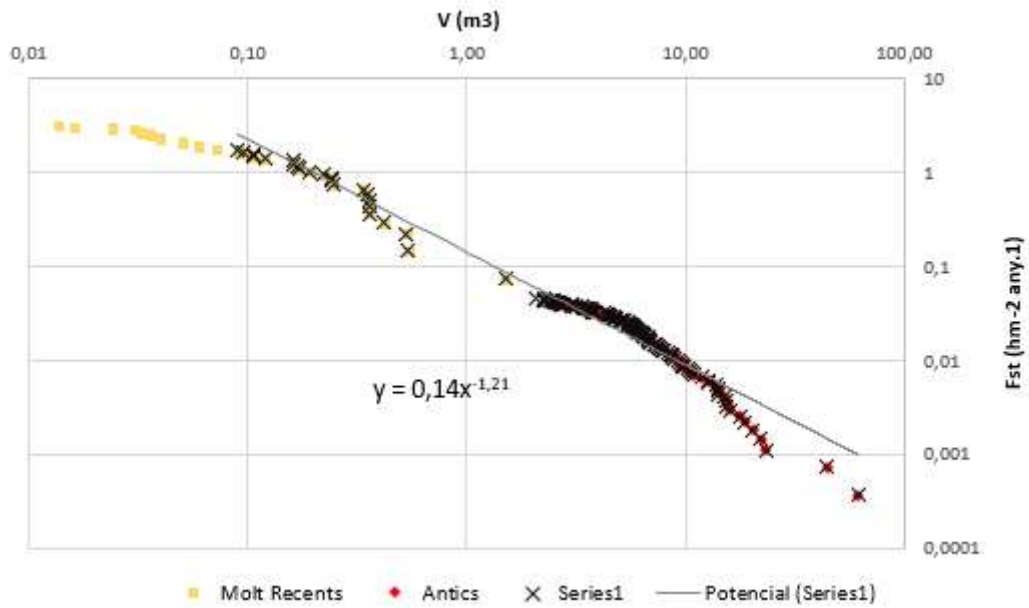
Amb els volums obtinguts es du a terme una línia de tendència potencial, i s'obté un ajust amb una corba amb valors d'a de 0,10 i b de 1,02 (Figura 26). Considerant els valors per sobre dels 2 m<sup>3</sup> (que es complementa amb els volums de blocs molt recents) s'obté un millor ajust.



**Figura 26.** Ajust obtingut a partir dels blocs antics.

#### 4.1.4 Corba magnitud-freqüència pels blocs caiguts

Per a obtenir la corba magnitud-freqüència del vessant, és necessari combinar les corbes de tendència per als volums dels diferents períodes analitzats. Així doncs, considerant els valors obtinguts per a blocs antics amb volum superior a 2 m<sup>3</sup> i molt recents amb valor superior a 0,09 m<sup>3</sup>, s'ha generat una corba unint (fusionant) els dos conjunts de dades i obtenint l'ajust de la Figura 27, amb uns valors d'a de 0,14 i b de 1,21.



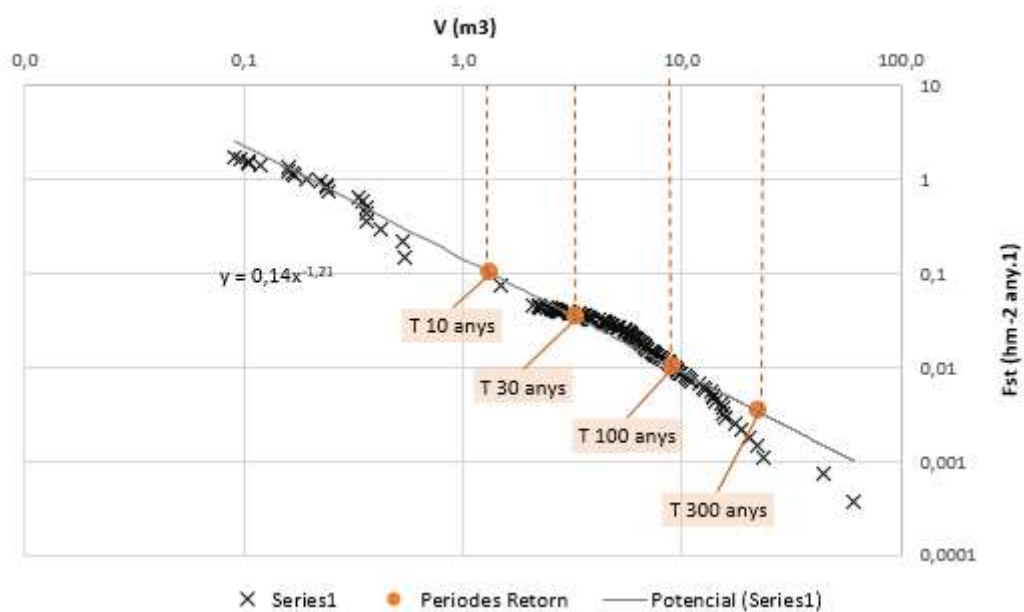
**Figura 27.** Ajust obtingut a partir de la fusió de totes les mostres de blocs.

## 4.2 Volums de referència

A partir de la corba obtinguda, és possible obtenir els volums de referència per als diferents períodes de retorn, obtenint els volums de la Taula 7 per blocs.

**Taula 7.** Volums de referència.

<i>T (anys)</i>	<i>V(m³)</i>
<b>1</b>	0,2
<b>3</b>	0,5
<b>10</b>	1,3
<b>30</b>	3,3
<b>100</b>	9,0
<b>300</b>	22,5
<b>1000</b>	61,0



**Figura 28.** Ajust obtingut i obtenció dels volums de referència per als diferents períodes de retorn

## 5 Modelització

### 5.1 Introducció

Per a la modelització s'han utilitzat dos programaris. En primer lloc el RockGIS i posteriorment el RocFall2.

La simulació amb el programari **RockGIS**, té per objectiu la definició de les trajectòries dels blocs caiguts al llarg del vessant. RockGIS és un programa de simulació tridimensional de caiguda de roques en un entorn GIS basat en una aproximació "lumped mass" que considera la fragmentació dels blocs. Aquest programari ha estat desenvolupat per la Universitat Politècnica de Catalunya (UPC).

Posteriorment, s'ha usat el programari **RocFall2**. L'objectiu de la modelització en RocFall2, és obtenir les variables necessàries per a determinar la perillositat. En concret, les variables energia i trajectòries probables. L'altra variable, la freqüència, s'ha determinat a partir de les dades obtingudes en l'inventari.

El software RocFall2 és un programa d'anàlisi estadística en dues dimensions que permet avaluar la perillositat de caiguda de roques en un vessant. El software està desenvolupat per la companyia Rocscience que, entre diferents mòduls, ha desenvolupat un algoritme que permet modelar caigudes de roques. El model simula la caiguda de roques considerant la geometria dels blocs, incloent els rebots, la velocitat i l'energia. El programari permet simular la dinàmica d'una trajectòria.

### 5.2 Simulació RockGis

#### 5.2.1 Introducció

Per a la simulació amb el programari RockGis és necessari disposar d'un model digital del terreny, determinar els punts de sortida i definir els paràmetres de simulació. El programa funciona en entorn "CMD" o consola del sistema (indicador d'ordres).

El model RockGIS es capaç de calcular les trajectòries dels blocs amb precisió en funció de la resolució del model d'elevació digital.

## 5.2.2 Model Digital del Terreny

Per a aquest treball s'ha utilitzat el model d'elevacions del terreny amb una resolució d'2x2m de l'ICGC. Aquest model necessita estar en format ascii per a ser reconegut pel programari RockGis.

## 5.2.3 Punts de sortida

Per a la definició dels punts de sortida s'ha considerat diferents punts al llarg dels escarpaments observats al vessant d'estudi. Per a cada punt de sortida és necessari definir la posició (coordenades), el volum del bloc, la velocitat inicial als tres eixos de coordenades, el número de blocs simulats i l'alçada sobre el model del terreny a la que es troba el blocs i des d'on començarà el moviment.

Els volums considerats en la simulació són els equivalents a un període de retorn de 1.000 anys, corresponent a 61,0m<sup>3</sup>. Es considera que comencen amb una velocitat en l'eix X de 0,01 m/s i nul·la als altres eixos.

##1	##2
Rx = 325112	Rx = 325122
Ry = 4726300	Ry = 4726297
Hx = 3	Hx = 3
Vx = 0.01	Vx = 0.01
Vy = 0.0	Vy = 0.0
Vz = 0.0	Vz = 0.0
NumBlocks = 5	NumBlocks = 5
61.0	62.0
%%	%%

**Figura 29.** Exemple de dos punts de sortida amb els paràmetres d'entrada per a blocs de volum 61,0m<sup>3</sup>

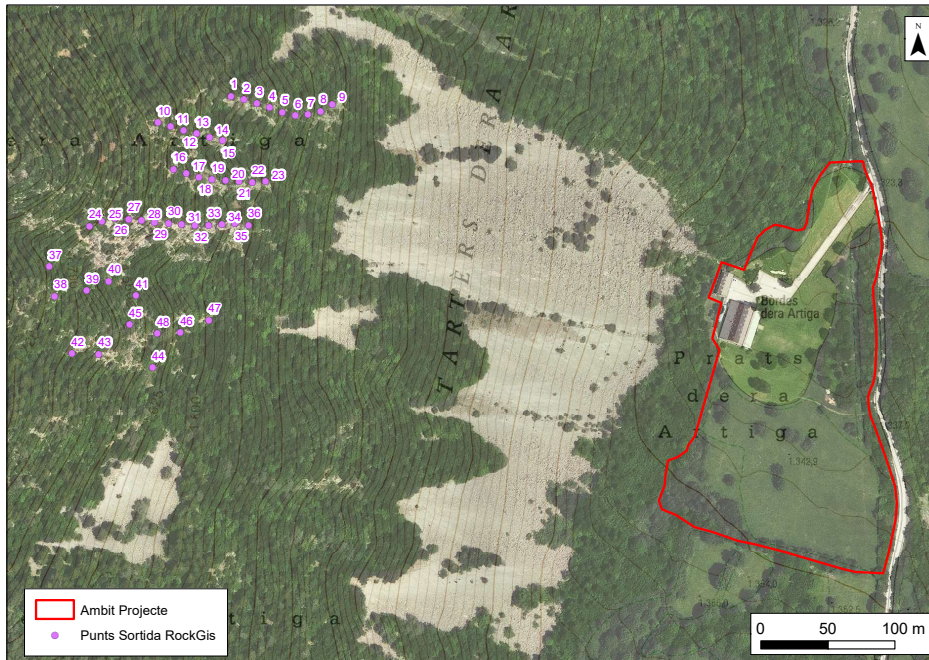


Figura 30. Punts de sortida considerats per al programari RockGis.

## 5.2.4 Paràmetres d'entrada

Els paràmetres d'entrada en la simulació són els estàndard, definits per defecte al programari. Es defineixen els paràmetres cinemàtics com són la velocitat d'aturada, la densitat de la roca, i també és necessari definir els paràmetres de fragmentació.

```
## Cinematic parameters
TimeStep = 0.01          # Timestep for the parabolic flight [s]
StopVelocity = 0.5      # Stopping velocity criterion [m/s]
Kna = 19.5              # Multiplier of the power law relating the normal impact velocity with the normal restitution coefficient
Knb = -1.03            # Exponent of the power law relating the normal impact velocity with the normal restitution coefficient
Kta = 21.0              # Parameter that controls the hyperbolic function for the tangential restitution coefficient [-]

RockDensity = 2500      # Rock density [kg/m³]
DragLayerHeigh = 1.0   # Height of the drag layer [m]
DragSpeedLimit = 5.0   # Maximum velocity at what drag force is applied [m/s]
DragCoefficient = 0.0   # Accelation in oposite direction of the velocity for stoppage [m/s²]

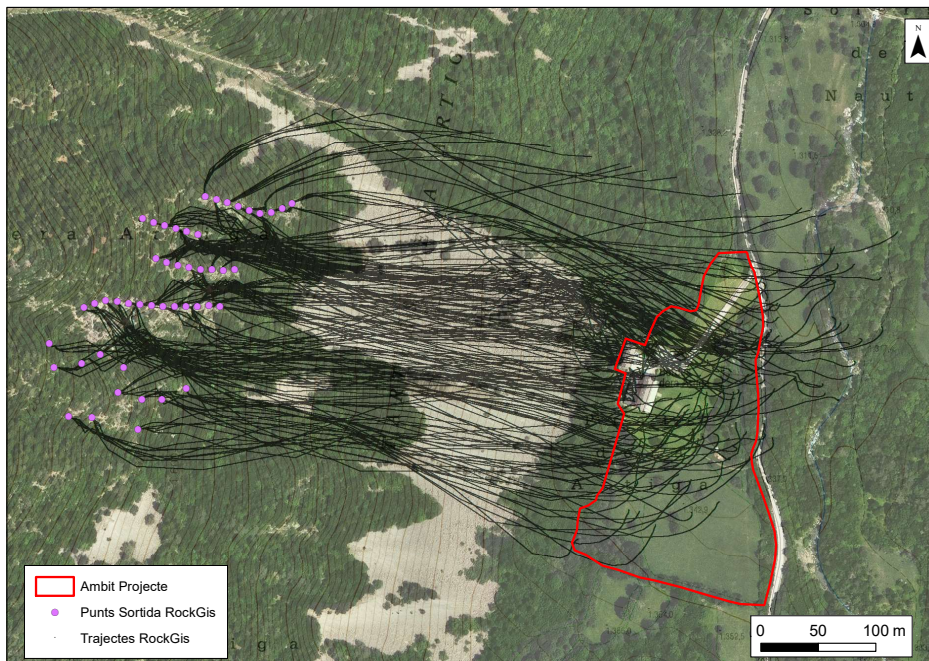
## Fragmentation parameters
r_variant = 0.0         # Scale variant power laws controlling parameter [0.0=scala invariant, >0 scale invariant]
na1 = 0.0031           # na1 and na2 control the power law relating the normal impact remaining energy and the new area [-]
na2 = 0.7562
b1 = -1.6125           # b1 and b2 control fractal dimension when fragmenting depending on new area/total area ratio
b2 = 2.4875
q1 = -0.5125           # q1 and q2 control survival probability
q2 = 1.0
MinAreaRatio = 0.25    # Minim ratio between new area and total area to trigger fragmentation [9999 disables fragemntation]
VminFrag = 0.00003     # Minimum fragment to consider when generating new fragments [m²]
Cone = 30.0            # Cone total oberture angle [°]
LimitAngle = 1.0       # Minimum accepted angle between cone output and terrain surface [°]
```

Figura 31. Paràmetres de simulació considerats per a la simulació en RockGis.

### 5.2.5 Resultats de la simulació amb RockGis

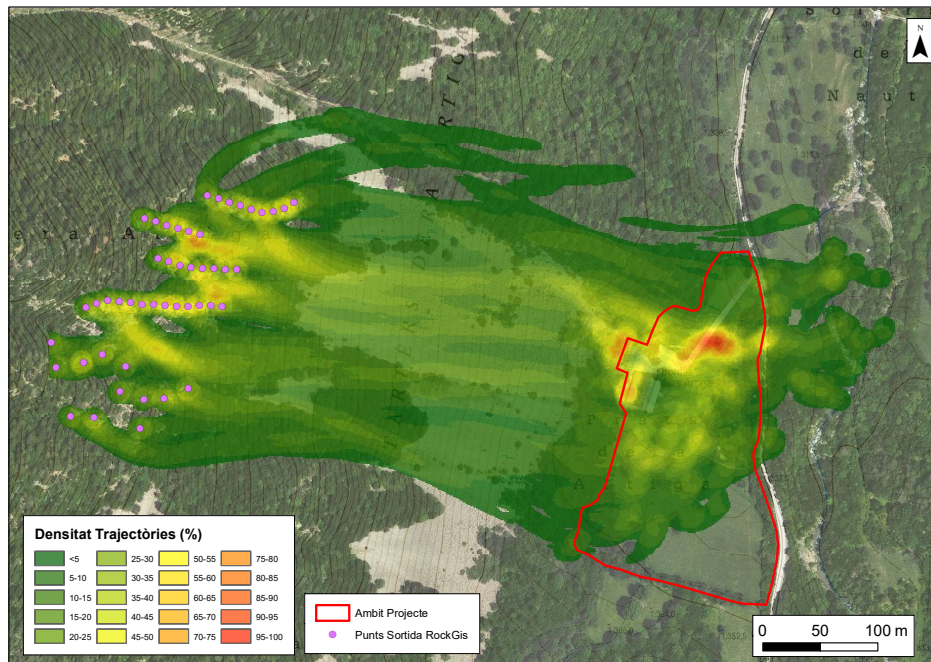
El resultat de la simulació és un fitxer de text amb valors separats per comes, en el que es defineixen les trajectòries per a cada bloc simulat. El fitxer de sortida es guarda en format de núvol de punts on hi apareixen les coordenades (X, Y i Z) del bloc a cada instant simulat, així com la velocitat i energia pel mateix instant.

Aquest fitxer de text és possible visualitzar-lo amb GIS, obtenint d'aquesta manera totes les trajectòries dels blocs simulats.



**Figura 32.** Resultat de les trajectòries simulades amb RockGis.





**Figura 33.** Densitat de les trajectòries simulades amb el RockGis. S'ha fet una divisió percentual de l'acumulació de trajectòries.

Els resultats de les simulacions amb RockGis permeten observar, com els edificis es troben en línia amb les trajectòries més probables. Aquest elevat percentatge de trajectòries en els edificis, es pot deure al fet, que el RockGis considera que el bloc, en tocar l'edifici, rebota i genera una trajectòria inversa, duplicant el traçat en aquest tram. De tota manera, les dues edificacions, es troben al sector on les trajectòries són més probables. Per altra banda, el resultat de les simulacions amb RockGis, permet identificar les trajectòries freqüents dels desprendiments al llarg del vessant i permet definir el perfils de simulació que s'usaran posteriorment al RocFall2.

## 5.3 Simulació amb RocFall2

### 5.3.1 Mètode d'anàlisi

A RocFall2 hi ha dos mètodes d'anàlisi possibles per dur a terme la modelització de la caiguda de blocs:

- Lumped Mass. És el mètode per defecte. En aquest cas se suposa que les roques són masses puntuals molt petites sense mida ni definició física.
- Rigid Body. Aquest mètode permet definir la forma i mides dels blocs.

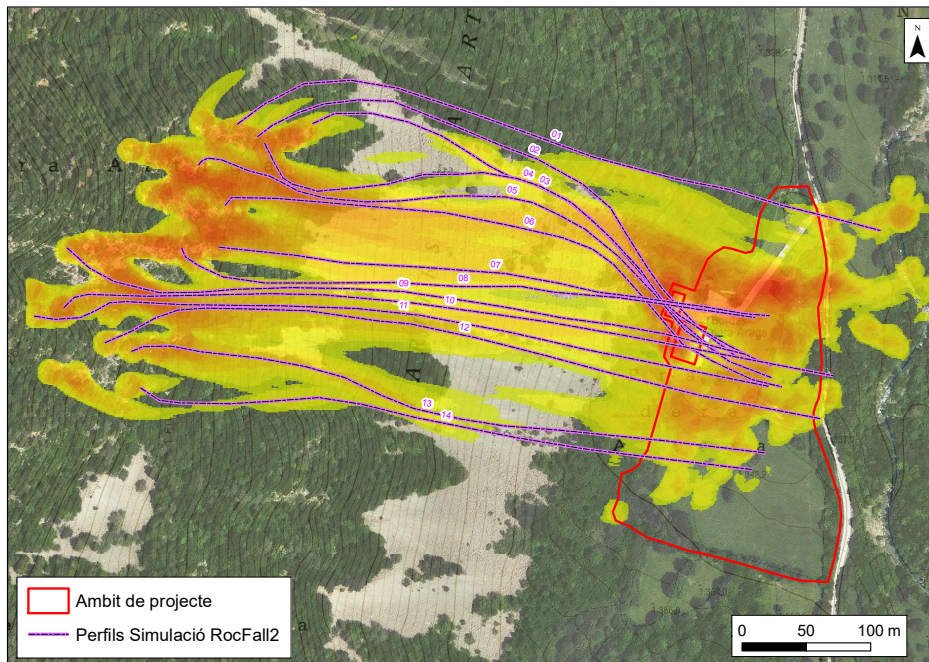
S'ha seleccionat el mètode "Rigid Body", ja que es considera que la massa i la morfologia de les roques és determinant a l'hora de fer la simulació i obtenir els resultats.

### 5.3.2 Pendent o perfils de càlcul

El pendent és la variable principal de la geometria a RocFall2. Moltes de les altres accions que es poden realitzar (afegir barreres, dibuixar gràfics, etc.) requereixen tenir un pendent vàlid.

A partir de les simulacions efectuades amb el programari RockGis (apartat 5.2.5) és possible definir les trajectòries de blocs més probables, i d'aquesta manera obtenir els perfils de càlcul per al RocFall2 més representatius del vessant.

S'han definit un total de 14 perfils, veure Figura 34. Aquests perfils es consideren representatius de les possibles trajectòries dels desprendiments provinents de diferents punts dels ressals superiors. S'han considerat els perfils que arriben a afectar les edificacions i l'àmbit delimitat, menyspreant aquelles trajectòries que sortien fora de l'àmbit.



**Figura 34.** Perfils de simulació amb el programari RocFall2 sobre la densitat de trajectòries obtinguda al RockGis.

El perfil de simulació és molt important a l'hora d'obtenir resultats el més ajustats possibles. Per tant, és molt important la correcta definició. Per aquest motiu s'ha utilitzat el model digital de terreny realitzat amb el vol dron, amb una resolució de 20cm.

### 5.3.3 Assignació dels materials del perfil

Al programari hi ha una col·lecció de tipus de materials comuns i els coeficients de materials corresponents tant per a les anàlisis "Lump Mass" com "Rigid Body". A part dels coeficients determinats per la litologia també, en aquest punt, es defineix la rugositat o amortiment provocat per la vegetació

En aquest punt, i considerant la geologia descrita en l'apartat 2, s'ha considerat:

- **Zona de sortida:** corresponent a roca sense vegetació.
- **Zona de trajecte superior:** s'ha considerat com un substrat amb vegetació entre escassa i mitjana, amb una alçada de vegetació efectiva de 1 metre i coeficient de

fregament de 100 kg/s, aquests valors estan definits a la llibreria del mateix programari, i que correspon a vegetació clara.

- **Tartera (zona de trajecte inferior):** correspon al blocs paleozoics, classificats com a materials de colada de roques a la llibreria del RocFall2.
- **Zona d'arribada:** correspon a sòls quaternaris a la part inferior de la tartera, amb presència considerable de vegetació. Considerant una alçada d'arbrat de 5 metres i un coeficient de fregament de 250 kg/s, corresponent a bosc mig.
- **Edificació:** materials predefinits al programari com estructura de formigó.

#### 5.3.4 Punts de sortida

A RocFall2, els punts de sortida determinen la ubicació de la caiguda de les roques. Per a cada simulació, representant cada perfil, s'ha considerat simular 5 punts de sortida separats verticalment 1m. Aquests punts de sortida s'han col·locat a la part més alta de cada perfil, interpretant així el cas més desfavorable.

Des de cada punt de sortida és necessari definir el número de roques que es simularan i les condicions inicials, com pot ser velocitat o rotació, en cas de considerar-se necessari. En el cas àmbit de projecte, s'ha considerat simular 20 blocs des de cada punt de sortida i sense aplicar velocitat inicial, ja que es consideren que comencen en caiguda lliure, és a dir, que cada simulació genera el traçat de 100 blocs de forma simultània.

#### 5.3.5 Definició del bloc

A l'hora d'especificar del bloc amb un anàlisi "Rigid Body", és possible definir la massa, la densitat i la proporció dels costats del poliedre que formen la roca.

En el present estudi, s'ha considerat prendre els volums considerats en l'apartat 4.2, i considerant una combinació de formes polièdriques (Pentagonal, Hexagonal i Octogonal), ja que els blocs observats durant la visita de camp presenten formes irregulars. La densitat considerada és de 2.700 kg/m<sup>3</sup>.

**Taula 8.** Volums i masses definides per al càlcul.

<i>T (anys)</i>	<i>V(m3)</i>	<i>Massa (kg)</i>
<b>30</b>	3,3	8.979
<b>100</b>	9,0	24.376
<b>300</b>	22,5	60.640
<b>1000</b>	61,0	164.627

#### **5.4 Normativa vigent considerada**

Per a la comprovació de les barreres s'ha tingut en compte la normativa ONR 24810. La "ONR 24810: Protecció tècnica contra caiguda de roques: termes i definicions, accions, disseny i construcció, i inspecció i manteniment" és una directriu tècnica completa centrada en les mesures de mitigació de desprendiments rocosos, que no només inclou les barreres de protecció, sinó també moltes altres formes de mitigació, com l'estabilització amb ancoratges i malles/xarxes, els dics i les galeries.

Un dels components bàsics de la directriu és el concepte de **classe de conseqüència**. És una qualificació qualitativa de les conseqüències derivades de la fallada o trencament de les mesures de mitigació respecte al grau de pèrdua de vides i als impactes econòmics, socials o ambientals. Aquestes classes van ser preses de la Norma Europea EN 1990: 2003 "Eurocodi: Bases per al disseny estructural ". Hi ha tres nivells de conseqüències definits com a baix, mitjà o alt com es mostra a continuació, que són unes classes de conseqüències globals basades a considerar tant els efectes en l'àrea de protecció com els efectes en la integritat del sistema de mitigació.

- CC1- Classe de Conseqüència 1

Proporciona el cas menys conservador per a la protecció. Només ha d'usar-se on hi hagi un baix impacte en vides humanes amb efectes econòmics, socials i ambientals petits o insignificants.

- CC2- Classe de Conseqüència 2

Proporciona un cas intermedi per a la protecció. Normalment s'aplica on hi ha un impacte mitjà en vides humanes amb possibles efectes econòmics, socials i ambientals considerables.

Els exemples poden incloure la protecció d'edificis residencials i d'oficines, edificis públics, com ara edificis d'oficines, carreteres regionals i nacionals amb volums de trànsit diaris <50,000 vehicles.

- CC3- Classe de Conseqüència 3

Proporciona el cas més conservador per a la protecció. S'aplica on hi ha un alt impacte en vides humanes amb grans efectes econòmics, socials i ambientals.

Els exemples poden incloure la protecció de tribunes, edificis públics amb alta concentració de persones, com a sales de concerts, carreteres regionals i nacionals amb volums diaris de trànsit > 50,000 vehicles

En el cas àmbit de projecte, es considera una **Classe de Conseqüència 2**.

Abans de dur a terme la modelització, s'ha de definir un bloc tipus apropiat. La guia proporciona dos mètodes per a seleccionar el bloc tipus: un "Enfocament simplificat" i un "Enfocament estàndard".

L'enfocament simplificat sols pot dur-se a terme si es dona almenys un dels següents factors:

- En la zona d'iniciació hi ha menys de 100 blocs rocosos susceptibles a desprendre's
- La classe de conseqüència es defineix com CC1
- La freqüència d'esdeveniments està per sota d'EF1 o EF2 (consultar la taula a continuació)

Classe de Freqüència	Freqüència	Fractil per volum
EF4 (molt alta)	$n \geq 10$ ( $\geq 10$ esdeveniments/any)	V <sub>98</sub>
EF3 (alta)	$1 \leq n < 10$ (1 a 10 esdeveniments/any)	V <sub>97</sub>
EF2 (baixa)	$0,03 \leq n < 1$ (1 a l'any a 1 esd./30a)	V <sub>96</sub>
EF1 (molt baixa)	$n < 0,03$ (<1 esdeveniment/30 anys)	V <sub>95</sub>

Per tant en el cas d'estudi, tenint en compte que no s'ajusta a cap dels supòsits anteriors, s'utilitza l'**enfocament estàndard**.

La **capacitat d'energia de disseny** de l'estructura de mitigació es determina comparant l'energia de disseny (energia d'acció) amb la capacitat de resistència (energia resistent) de l'estructura. S'apliquen diversos factors parcials de seguretat per a compensar les incerteses en els resultats de modelització, així com les simplificacions durant els assajos del producte, com els impactes idealitzats en el mitjà d'un camp i l'altura d'un panell de barrera, forma de bloc simplificat, absència d'energia rotacional, etc.

El valor de disseny de l'**energia d'acció**  $T_{E,d}$  es basa en l'energia característica determinada pels resultats de l'anàlisi de caiguda de roques, duta a terme en les modelitzacions i el producte d'un factor de seguretat parcial d'acord amb la classe de conseqüència. Per al valor característic de l'energia ( $T_{E,k}$ ) s'usa el fractil 99 de la distribució d'energia per al bloc de disseny generat a partir de simulacions.

$$T_{E,d} = T_{E,k} \cdot \gamma_{E \text{ kin}}$$

on,

$T_{E,d}$ : valor de disseny de l'energia d'acció

$T_{E,k}$ : valor característic de l'energia modelitzada que és igual a  $T_{99}$

$\gamma_{E \text{ kin}}$ : factor de seguretat parcial segons la classe de conseqüència.

En aquest cas 1,05.

El valor **d'energia resistent**  $T_{R,d}$  es basa en la capacitat d'energia característica comercial disponible d'una estructura ( $T_{k,MEL}$ ) d'acord amb les pautes "ETAG 27" o "EAD 340059-00-0106", reduïda per un factor parcial de seguretat d'acord amb la classe de conseqüència.

$$T_{R,d} = T_{k,MEL} / \gamma_{T,R}$$

on,

$T_{R,d}$ : energia resistent (energia de disseny)

$T_{k,MEL}$ : Classe energètica del nivell màxim d'energia (MEL) segons la certificació del producte (ETAG 27: 2012, clàusula 2.4.3.2)

$\gamma_{T,R}$ : factor de seguretat parcial segons la classe de conseqüència.  
En aquest cas 1,05.

Per a **verificar** la capacitat d'absorció de disseny, el valor d'acció de disseny de l'energia ha de ser menor o igual al valor de resistència de disseny de l'energia de la següent manera:

$$T_{E,d} \leq T_{R,d}$$

L'altura de **rebot de disseny**  $h_{e,d}$  es basa en l'altura de rebot característica determinada pels resultats de l'anàlisi de caiguda de roques, obtingut a partir de la modelització, i el producte d'un factor de seguretat parcial d'acord amb la classe de conseqüència. Per a l'altura de rebot característica ( $h_{e,k}$ ) s'utilitza el fractil 95 de distribució d'altura de rebot per al bloc de disseny generat a partir de simulacions, mesurat perpendicular al pendent i presa des de la part superior del bloc de disseny. Nota: molts programes de simulació generen l'altura del centre de massa, la qual cosa requeriria l'addició de 1/2 del diàmetre del bloc. El factor de seguretat parcial ( $\bar{\alpha}_1$ ) es defineix segons la classe de conseqüència.

$$h_{e,d} = (h_{e,k} + \frac{1}{2} \text{Max Dim}) \cdot \bar{\alpha}_1$$

on,

$h_{e,d}$ : valor d'altura de disseny

$h_{e,k}$  : valor d'altura de rebot modelitzat característic que és igual a:  
 $h_{95}$



$\bar{\alpha}_1$  : factor de seguretat parcial segons la classe de conseqüència. En aquest cas 1,1.

**L'altura del sistema a considerar**  $h_{R,d}$  es basa en l'altura característica comercial disponible d'una estructura ( $h_{R,k}$ ) d'acord amb les pautes ETAG 27 o EAD 340059-00-0106, reduïda per un factor parcial de seguretat d'acord amb la classe de conseqüència. Els sistemes mai poden ser de menor altura a l'altura assajada. El factor de seguretat parcial ( $\bar{\alpha}_2$ ) es defineix segons la classe de conseqüència.

$$h_{R,d} = h_{R,k} / \bar{\alpha}_2$$

on,

$h_{R,d}$  : altura de la barrera a considerar (altura de la barrera)

$h_{R,k}$ : valor característic de l'altura de la barrera segons la certificació del producte

$\bar{\alpha}_2$  : factor de seguretat parcial (1,05)

Per a la **verificació** de l'altura d'una barrera, l'altura de rebot del disseny ha de ser menor o igual a l'altura a considerar del sistema de la següent manera:

$$h_{e,d} \leq h_{R,d}$$

## 5.5 Resultats de la simulació

Les modelitzacions s'han realitzat a partir dels volums dels blocs obtinguts segons el període de retorn (Taula 8). S'ha simulat blocs individuals, no masses despreses i, per tant, sense considerar la fragmentació. Les simulacions representen les trajectòries probables dels volums dels blocs majors de la massa despresa estimada per a cada període de retorn. Per tant, es tracta de resultats pessimistes, que es troben per la banda de la seguretat. En tot cas, al generar múltiples escenaris per punt de sortida, el resultat mostra un ampli ventall de trajectòries en 1 dimensió dins del mateix perfil, assimilable a les trajectòries que es

generen en el procés de disgregació i fragmentació del desprendiment. Tots els escenaris s'han generat a partir de la simulació dels desprendiments des de la cota superior de l'escarpament, considerant així el cas més desfavorable.

S'han realitzat diverses simulacions per a cada escarpament o zona de sortida i per als diferents períodes de retorn considerats. En total s'han simulat 14 perfils (apartat 5.3.2), considerant el període de retorn de referència, amb el corresponent volum de referència (apartat 4.2), generant en total més de 60 simulacions.

Els resultats de referència s'han registrat en el possible emplaçament de la barrera, considerada al peu de la tartera i per sobre la línia del bosc existent, Figura 35. El programari RocFall2 permet introduir una barrera predefinida a l'hora de fer la simulació.



**Figura 35.** Línia d'obtenció de resultats (barrier) considerada al RocFall.

### 5.5.1 Simulació T 30 anys

En aquest cas es duen a terme 12 perfils de simulació, amb el volum de blocs per a T30 indicat a la Taula 8. Els resultats obtinguts per a l'alçada de rebot i la velocitat estan inclosos a l'Annex 3.

Els resultats de les simulacions de l'energia a la línia de la barrera, es mostren a la figura següent, Figura 36.

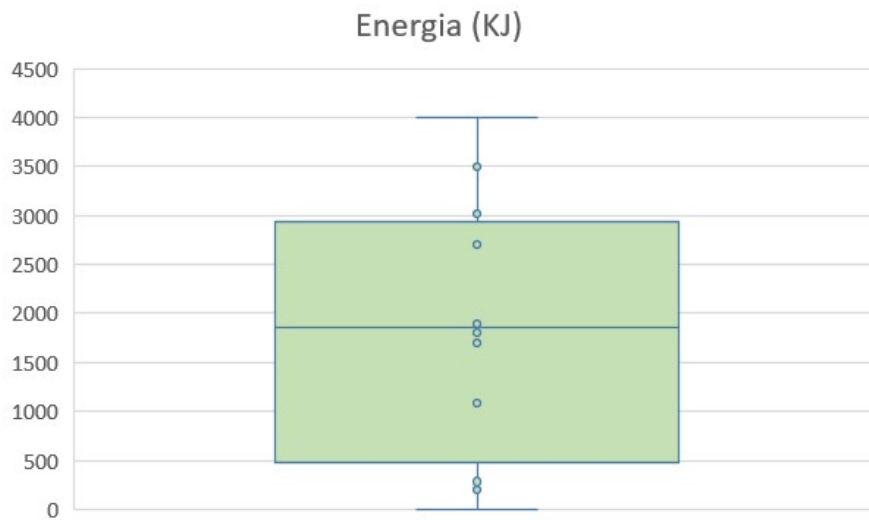


**Figura 36.** Energia obtinguda per a la simulació de T30 anys

**Taula 9:** Valors d'energia obtinguts per a un període de retorn de 30 anys.

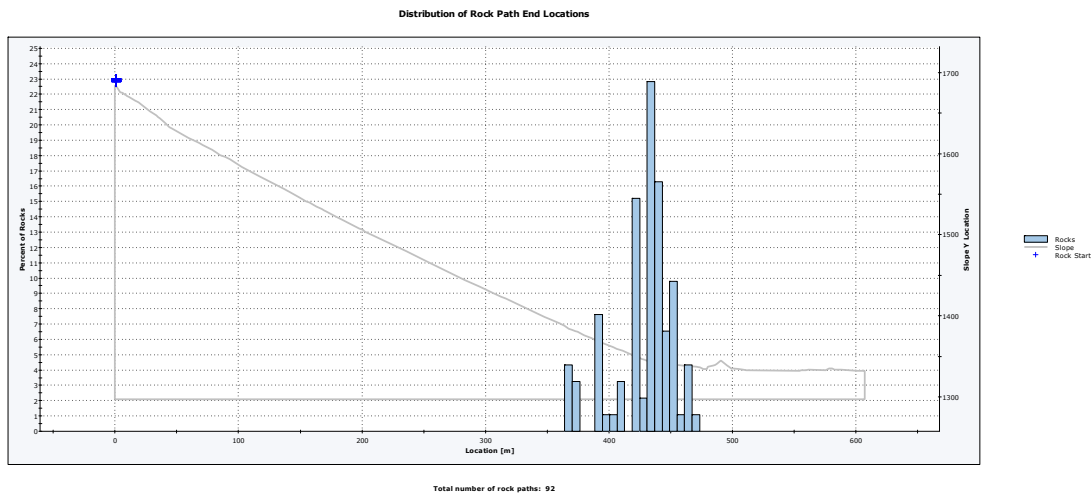
<b>Max</b>	4000,0 KJ
<b>Mitjana</b>	1840,0 KJ
<b>Desviació</b>	1301,8 KJ

Es pot veure com el valor mig de les energies, per a T 30 anys, és de 1.840KJ, el valor màxim obtingut és de 4.000KJ, corresponent a un sol perfil, i els valors per sobre de 3.000 KJ es troben fora de la mitjana, Figura 36.

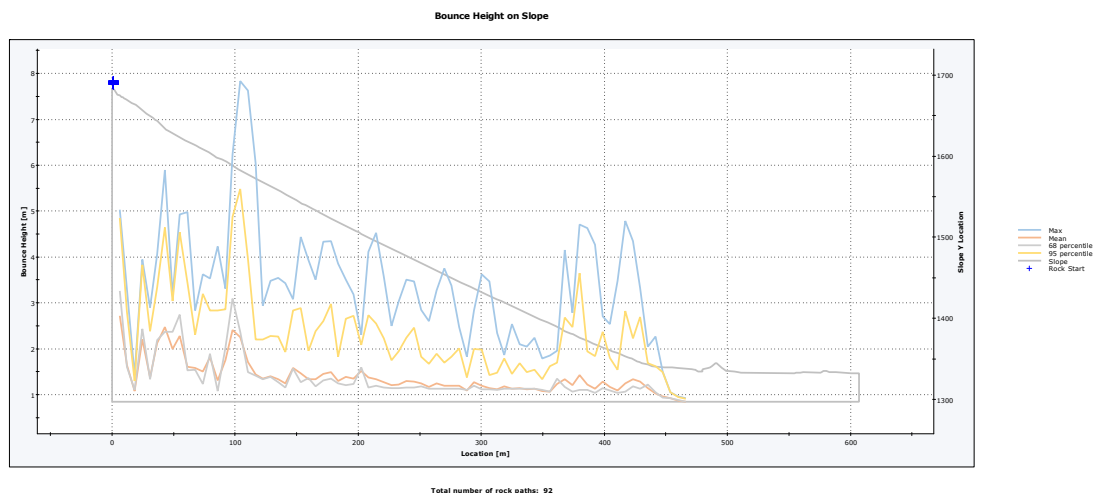


**Figura 37.** Caixa i bigotis per a l'energia obtinguda per a la simulació de T30 anys

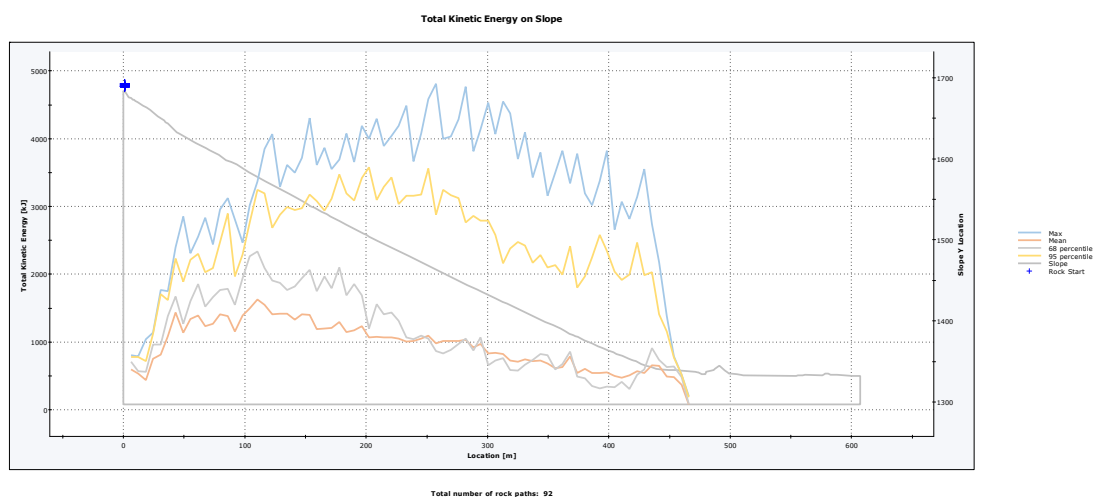
El software ROCKFALL2, permet obtenir les energies, rebots i velocitat al llarg de tot el perfil, així com el punt on els blocs queden aturats, a continuació s'adjunten les figures corresponents del perfil número 10, la resta de perfils i resultats estan adjunts a l'annex 3.



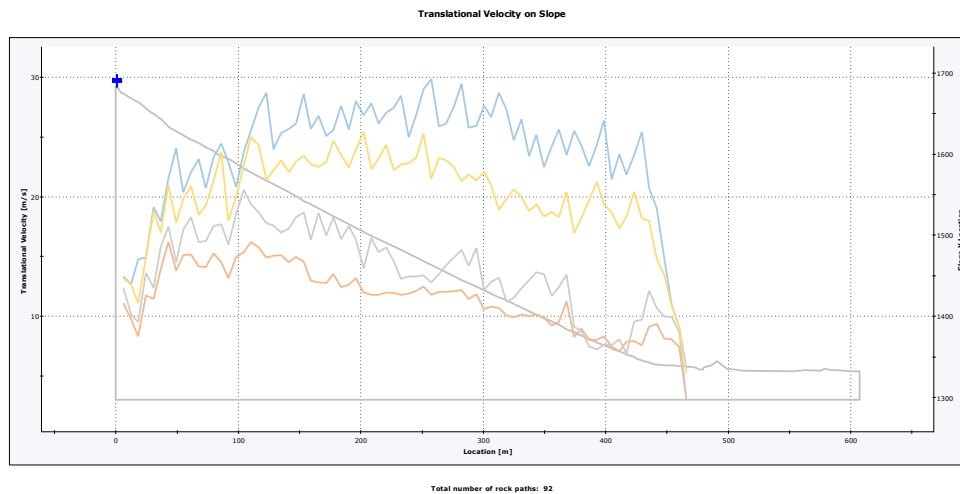
**Figura 38.** Punt d'aturada dels blocs al perfil número 10, per a un bloc de volum T 30 anys.



**Figura 39.** Rebots al llarg del perfil número 10, per a un bloc de volum T 30 anys.



**Figura 40.** Energia al llarg del perfil número 10, per a un bloc de volum T 30 anys.



**Figura 41.** Velocitats al llarg del perfil número 10, per a un bloc de volum T 30 anys.

Es pot veure com els rebots són més elevats als primers metres del recorregut, posteriorment disminueixen, per sota de 5m d'alçada al llarg de la tartera. L'energia augmenta a partir dels 150m, i es mantén elevada fins al final de la tartera, però sempre per sota de 5.000KJ, aproximadament a 320m de la sortida, a partir d'aleshores baixen de forma molt ràpida.

### 5.5.2 Simulació T 100 anys

En aquest cas es duen a terme 12 perfils de simulació, amb el volum de blocs per a T100 indicat a la Taula 8. Els resultats obtinguts per a l'alçada de rebot i la velocitat estan inclosos a l'Annex 3.

Els resultats de les simulacions de l'energia es mostra a la figura següent, Figura 36.

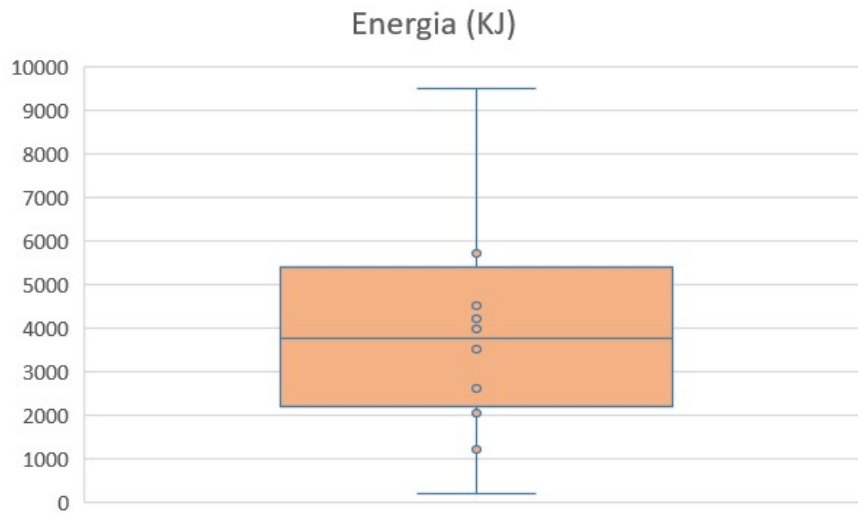


**Figura 42.** Energia obtinguda per a la simulació de T100 anys

**Taula 10:** Valors d'energia obtinguts per a un període de retorn de 100 anys.

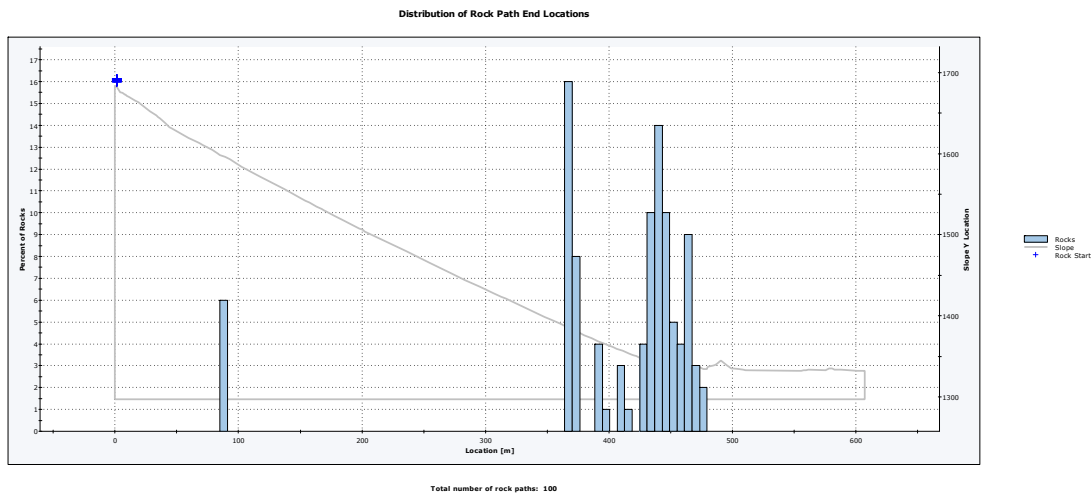
<b>Max</b>	11000,0 KJ
<b>Mitjana</b>	4330,8 KJ
<b>Desviació</b>	3156,7 KJ

Es pot veure com el valor mig de les energies, per a T 100 anys, és de 4.330KJ i els valors per superiors a 5.400 KJ es troben per sobre del quartil superior, Figura 36. S'observa un valor molt elevat, 11.000 KJ, corresponent a un sol perfil de simulació.



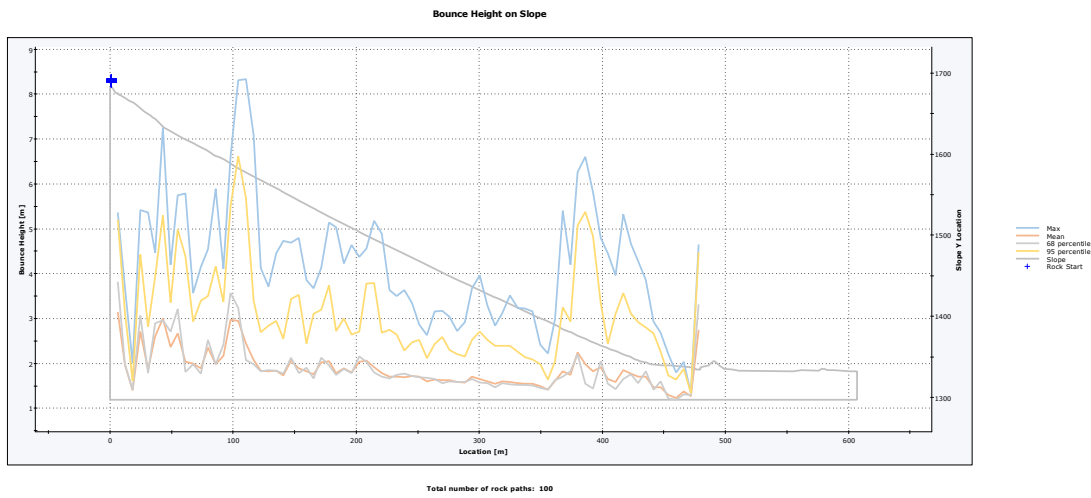
**Figura 43.** Caixa i bigotis per a l'energia obtinguda per a la simulació de T100 anys

A continuació s'adjunten les figures corresponents del perfil número 10 mostrant el punt d'aturada, alçada de rebot, energia i velocitat d'un bloc de referència per a un període de retorn de 100 anys. La resta de perfils i resultats estan adjunts a l'annex 3.

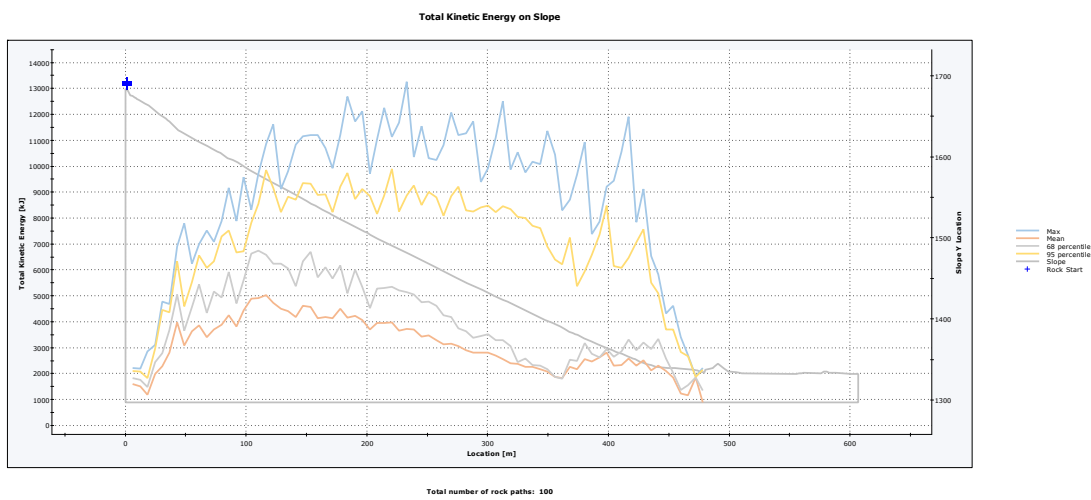


**Figura 44.** Punt d'aturada dels blocs al perfil número 10, per a un bloc de volum T 100 anys.

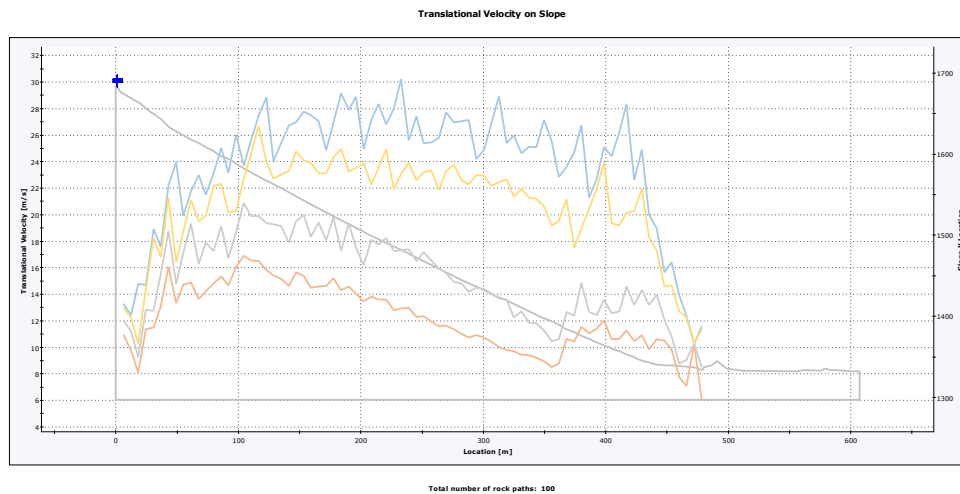




**Figura 45.** Rebots al llarg del perfil número 10, per a un bloc de volum T 100 anys.



**Figura 46.** Energia al llarg del perfil número 10, per a un bloc de volum T 100 anys.



**Figura 47.** Velocitats al llarg del perfil número 10, per a un bloc de volum T 100 anys.

Es pot veure com els rebots són elevats al primer tram, arribant als 8 metres d'alçada, posteriorment, a la tartera, baixen per sota dels 5m, i finalment al tram baix de la tartera tornen a augmentar, arribant puntualment a 6m. En quant a l'energia, inicialment és baixa, inferior a 8000KJ, al tram central, corresponent a la tartera, augmenta fins als 13.000 KJ (pic localitzat) i al finalitzar la tartera baixen de forma brusca. Es pot veure com, en aquest cas, el bloc simulat impacta a l'edifici.

### 5.5.3 Simulació T 300 anys

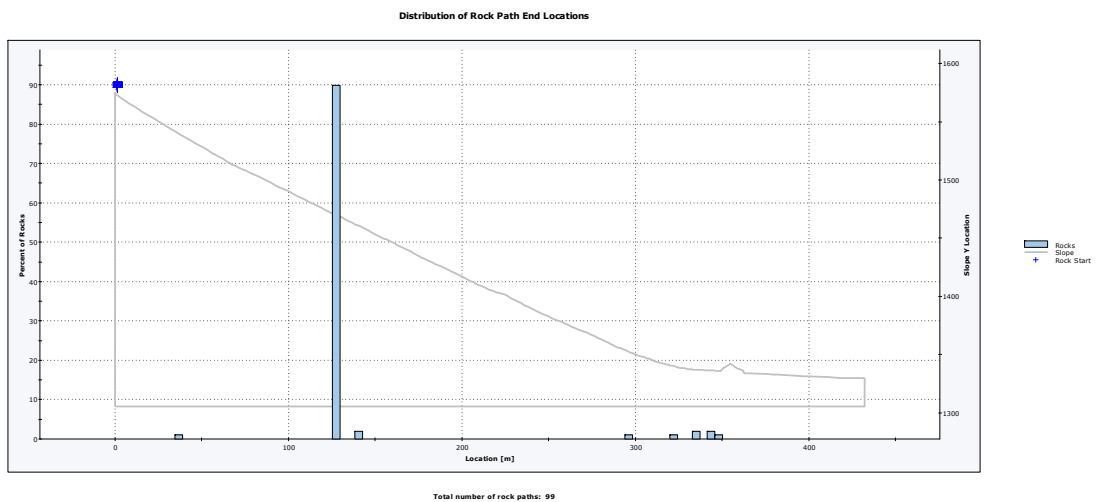
En aquest cas es duen a terme 12 perfils de simulació, amb el volum de blocs per a T300 indicat a la Taula 8. Els resultats obtinguts per a l'alçada de rebot i la velocitat estan inclosos a l'Annex 3.

En aquestes simulacions es pot observar com la majoria de blocs no arribaria a l'emplaçament teòric de la barrera, però en els casos en que ho fa arriba amb unes energies molt elevades. Segons les simulacions, tant sols tres perfils simulats, tenen abast fins a la part inferior de la tartera, assolint unes energies de 6.500 KJ (perfil 7), 17.000 KJ (perfil 9) i 21.900 KJ (perfil 10).

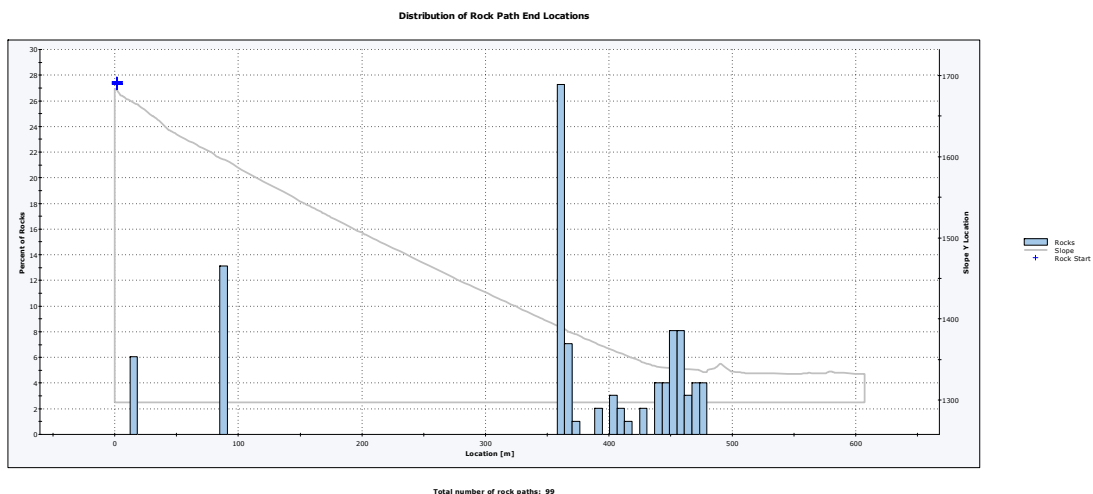
A continuació es mostren els resultats de les simulacions per al perfil 7 (Figura 48), on es veu que el 90% dels blocs s'aturen a la part superior de la tartera, i tant sols un 1% arriba

a impactar a la barrera. Al perfil 10 (Figura 49 i Figura 50) es pot observar com un 4% dels blocs arriben a impactar amb la barrera, amb una energia superior a 21.000KJ.

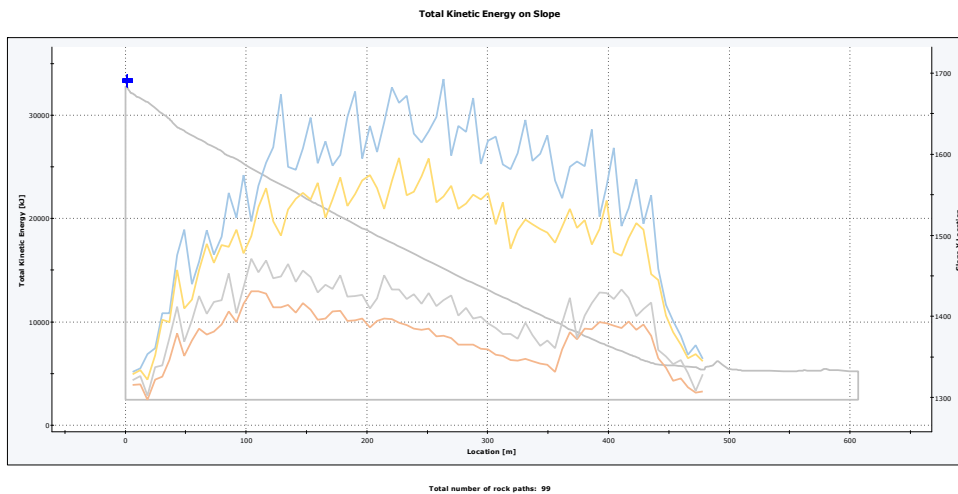
Aquestes energies obtingudes en la simulació, al punt d'impacte amb la barrera, són valors molt elevats, i actualment no hi ha cap pantalla dinàmica comercial que assoleixi aquestes resistències.



**Figura 48.** Punt d'aturada dels blocs al perfil número 7, per a un bloc de volum T 300 anys.



**Figura 49.** Punt d'aturada dels blocs del perfil número 10, per a un bloc de volum T 300 anys.



**Figura 50.** Energia al llarg del perfil número 10, per a un bloc de volum T 300 anys.

Per aquest període retorn, s'observa que els blocs simulats arriben a impactar els edificis amb energies considerables. L'energia al perfil 10, al tram central del traçat supera els 30.000KJ, mantenint-se elevada, per sobre de 20.000KJ, al llarg de tota la tartera i únicament baixa al arribar a la zona vegetada, descendint fins a 7.000KJ.

## 6 Zonificació del terreny segons la perillositat per desprendiments

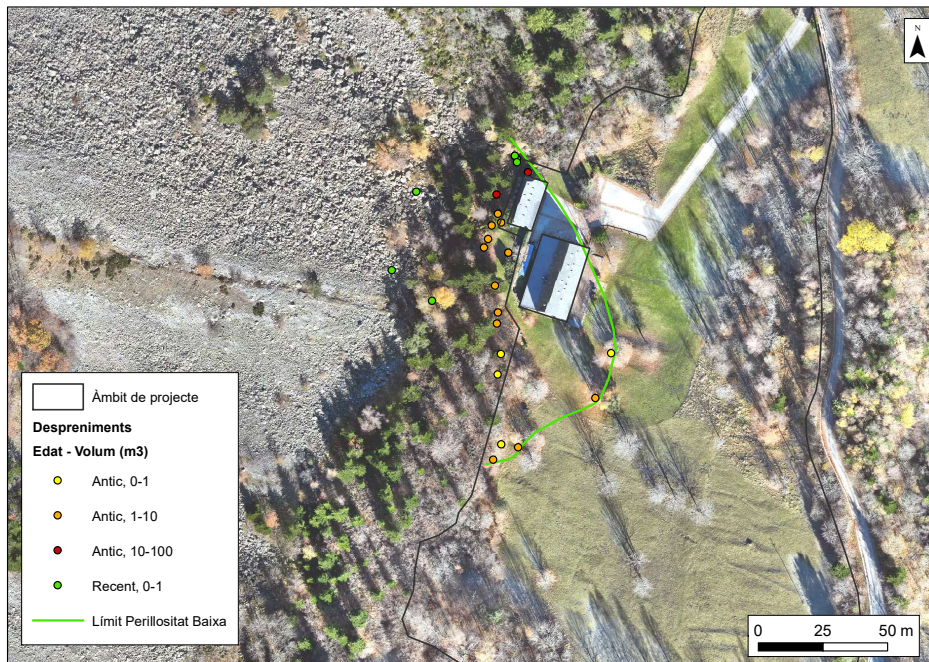
Com a objectiu del present treball, s'ha realitzat una zonificació de la perillositat per desprendiments. Per a tal finalitat, s'ha aplicat la matriu establerta per l'ICGC (ICGC 2022<sup>5</sup>, Figura 51) en la que es categoritza la perillositat en funció dels paràmetres que la defineixen: intensitat i probabilitat d'ocurrència.

Intensitat	Probabilitat d'ocurrència				
	Molt baixa	Baixa	Mitjana	Alta	Molt Alta
Energia (kJ)	>300 anys	100-300 anys	30-100 anys	10-30 anys	<10 anys
<20	Molt baixa	Baixa	Baixa	Mitjana	Mitjana
20-200	Baixa	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta
200-2.000	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta	Alta
2.000-20.000	Mitjana	Mitjana	Alta	Alta	Molt alta
>20.000	Mitjana	Alta	Alta	Molt alta	Molt alta

**Figura 51.** Matriu de zonificació de la perillositat enfront la caiguda de roques, en funció de la probabilitat d'ocurrència i de la intensitat (energia dels blocs). ICGC 2022.

La primera aproximació de la perillositat s'ha dut a terme amb l'inventari de blocs despresos observats a camps. En total Aquests blocs, es considera, marquen el límit de perillositat baixa . En total es disposa de 24 esdeveniments, 18 considerats antics i 6 recents, i amb volums compresos entre els 0,1m<sup>3</sup> i 60m<sup>3</sup>. Hi destaquen 5 blocs, que es localitzen dins de l'àmbit delimitat, dos d'ells més enllà dels edificis.

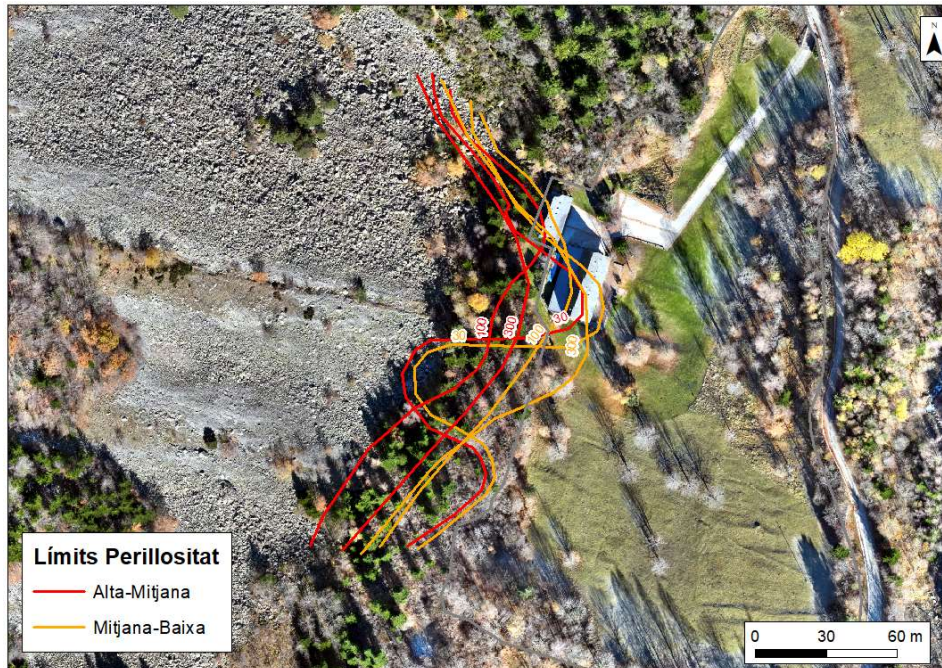
<sup>5</sup> ICGC (2022). Guia per a la realització d'estudis de zonificació i quantificació de la perillositat de caiguda de roques i desprendiments. AP-0026/22



**Figura 52.** Límits de perillositat baixa definida segons els blocs despresos observats.

La segona aproximació, es realitza obtenint la intensitat d'energia dels blocs despresos per a diferents períodes de retorn. Aquesta intensitat s'ha obtingut a partir de la simulació dels desprendiments amb Rocfall2, per cada escenari de referència (30, 100 i 300 anys) i segons els paràmetres definits al punt 5.5. Les trajectòries i energies obtingudes han permès delimitar unes franges de perillositat per a cada escenari de referència, d'acord amb la matriu de zonificació de la perillositat (Figura 51).

Cal recordar que les simulacions s'han fet simulant els desprendiments des de la part superior de l'escarpament i corresponen a mides màximes de blocs per als desprendiments de referència. Per tant, els resultats obtinguts en les simulacions serien els més extrems possibles per a cada mida de bloc. El criteri per posar el límit entre classes de perillositat ha estat que en el traç de la línia, no es superés l'energia màxima que li correspon segons el període de retorn. El resultat ha donat diferents línies que delimiten la perillositat segons els diferents períodes de retorn (Figura 53).

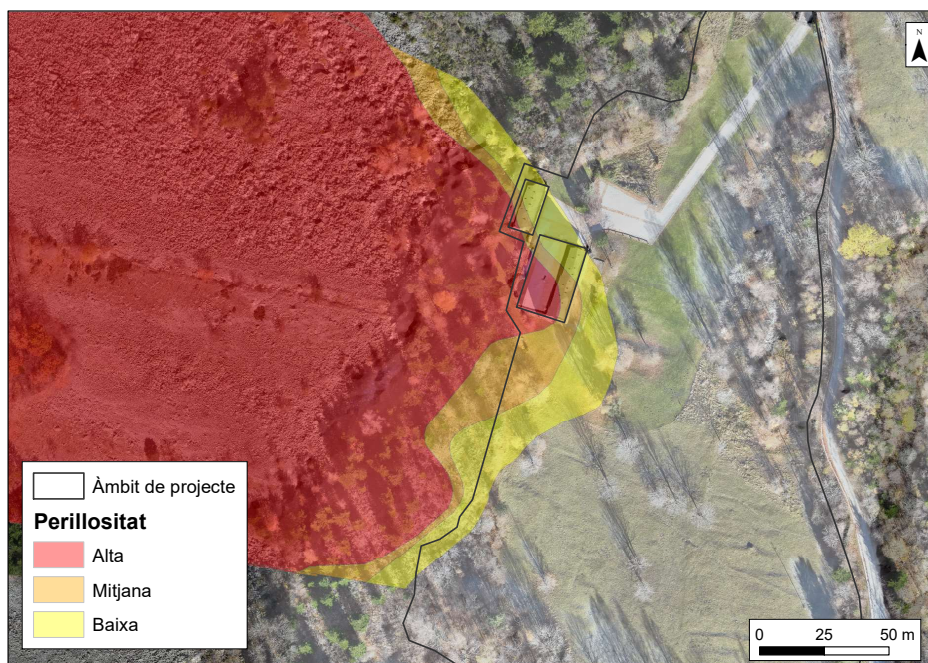


**Figura 53.** Límits de perillositat Alta-Mitjana (en vermell) i Mitjana-Baixa (taronja) obtinguts per als diferents períodes de retorn.

Els límits finals s'han definit amb coherència amb els indicis inventariats, la morfologia del terreny, i tenint en compte que els resultats de les simulacions han quedat per la banda de la seguretat.

La Figura 54 mostra el resultat obtingut. Es considera una perillositat alta a tota la tartera, incloent la franja de bosc al peu i arribant fins al costat oest dels edificis de l'àmbit delimitat. La perillositat mitjana correspon a una franja relativament paral·lela a la perillositat alta, i inclou parcialment les edificacions. El límit de la perillositat baixa, es considera allà on s'aturen els blocs a les simulacions, fins on s'ha observat indicis, i als sectors on el límit entre la baixa i la mitjana són molt propers, inferior a 5 metres, es suposa una franja de perillositat baixa de 10m, com a mesura de seguretat.

Els escenaris s'han plantejat amb les condicions actuals del terreny i considerant el bosc actual. Cal tenir-ho en compte, ja que modificacions al terreny o a la cobertura vegetal, podria suposar un canvi substancial en el grau de perillositat.



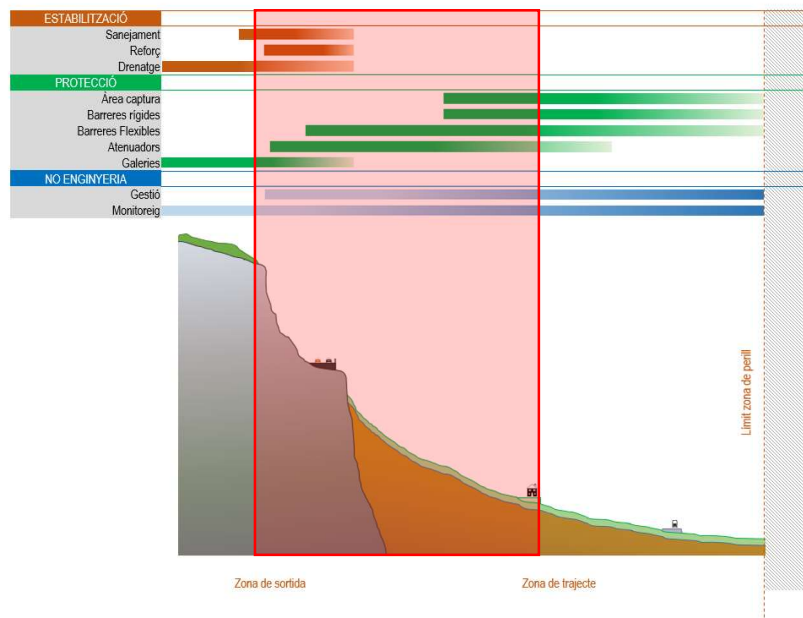
**Figura 54.** Mapa de zonificació de la perillositat.



## 7 Alternatives de defensa

### 7.1 Proposta d'actuació

A l'àmbit de projecte ens trobem en un escenari de zona de sortida, trajecte i arribada (requadre vermell de la **Figura 55**). Per tant, es possible serà necessari actuar a la zona superior del vessant, on podem actuar de forma activa, mitjançant estabilització, o bé a la base de la tartera, de forma passiva, mitjançant protecció.



**Figura 55.** Escenari esquemàtic del vessant

Es plantegen les següents mesures de protecció i estabilització:

- Solucions de protecció (passives): tenen per objectiu aturar els blocs despresos, al peu de la tartera. Consisteix en la Instal·lació de **pantalles dinàmiques**.
- Solucions d'estabilització (actives): tenen per objectiu evitar que es desprenguin masses que depassin el volum o altura de rebot de disseny de les mesures de protecció passives. Consisteixen en **ancoratges puntuals** sobre masses potencialment inestables i, eventualment, **mallat reforçada de cable d'acer** per

estabilitzar els sectors de la capçalera de l'escarpament, el desprendiments dels quals podria afectar l'àmbit de projecte.

És fonamental que tota la instal·lació d'estabilització-protecció segueixi un **pla de seguiment i manteniment periòdic** per garantir la seva vida útil. Després de cada episodi significatiu de desprendiments, és important que tant l'estat del massís com de la instal·lació d'estabilització i protecció siguin revisats per un tècnic especialista per avaluar el seu estat i prendre les mesures correctores que es consideri oportú en cas necessari.

## 7.2 Instal·lació de pantalles dinàmiques

Es planteja la ubicació d'una pantalla dinàmica al peu de la tartera, dissenyada per a l'aturada i absorció dels impactes dels blocs despresos de les part altes del vessant.



**Figura 56.** Emplaçament de la barrera dins l'àmbit del projecte.

Per als càlculs de les barreres s'ha tingut en compte la normativa austríaca ONR 24810. La "ONR 24810: Protecció tècnica contra caiguda de roques: termes i definicions, accions, disseny i construcció, i inspecció i manteniment" és una directriu tècnica completa centrada en les mesures de mitigació de desprendiments rocosos, que no només inclou les barreres

de protecció, sinó també moltes altres formes de mitigació, com l'estabilització amb ancoratges i malles/xarxes, els dics i les galeries.

Es defineix una tipologia de barrera, que és funció de l'energia i dels rebots obtinguts a les simulacions, que permet definir l'altura de la barrera i la resistència d'aquesta. Aquestes simulacions, i per tant el dimensionat de les barreres, es du a terme, amb el bloc de volum de referència 3,3m<sup>3</sup>, corresponent a un període de retorn de 30 anys. Per tant, els blocs inestables de majos dimensions, necessiten mesures extraordinàries d'estabilització, com pot ser l'ancorat individual.

La solució proposada consisteix en una pantalla dinàmica de 80m de longitud, dimensionada amb una energia de disseny de 3.000 KJ i una alçada de 6,0m. Aquesta barrera es consideraria col·locar-la al final de la tartera (Figura 56), deixant una distància suficient amb les edificacions per tal que l'elongació posterior de la barrera, en cas d'impacte, no afectés l'estructura dels edificis.

Aplicant la normativa ONR 24810, amb les energies dels perfils de simulació que afecten l'emplaçament de la barrera, s'obté que els resultats, amb una barrera de 3.000KJ, són favorables per a blocs de volum igual o inferior a 3,3m<sup>3</sup>. Tots els blocs de volum superior a 3,3m<sup>3</sup> i energies superiors a 3.000 KJ, no són aturats per la barrera, i per tant, han de ser estabilitzats mitjançant ancoratges localitzats, a la zona de sortida.

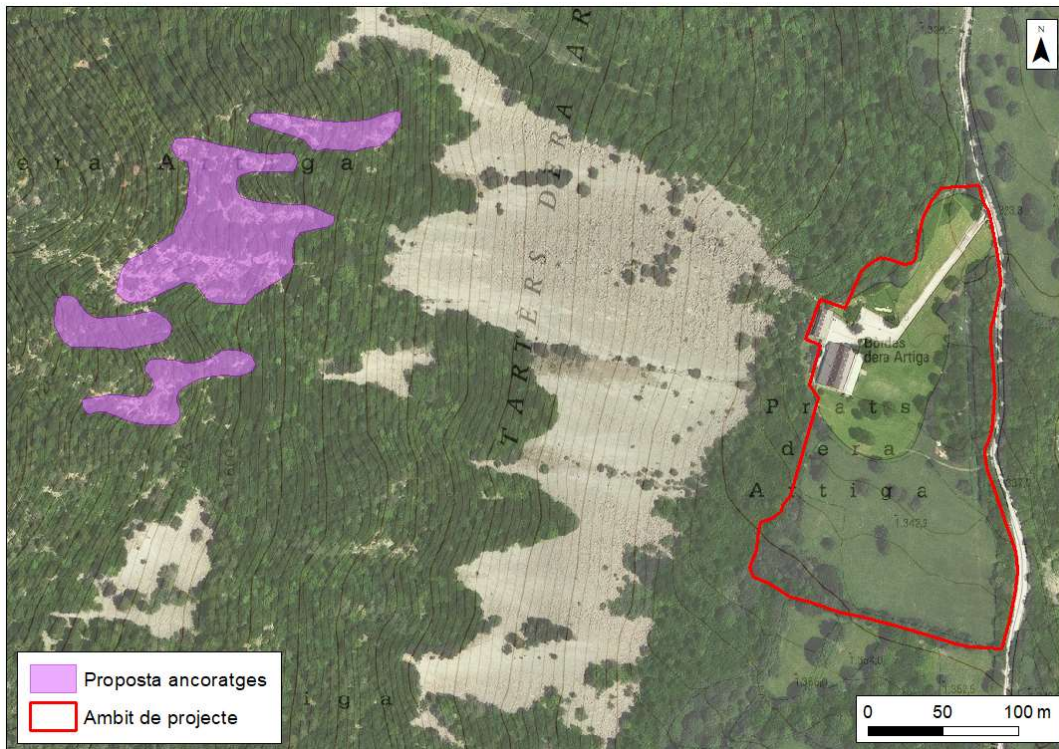
**Taula 11:** Comprovació de l'energia de disseny de les barreres

<b>Perfil</b>	<b>TE,d (KN)</b>	<b>TR,d (KN)</b>	<b>TR,d &gt; TE,d</b>
<b>2</b>	0	2857	Compleix
<b>4</b>	210	2857	Compleix
<b>5</b>	299	2857	Compleix
<b>6</b>	1134	2857	Compleix
<b>7</b>	1785	2857	Compleix
<b>8</b>	1890	2857	Compleix
<b>9</b>	1995	2857	Compleix
<b>10</b>	1995	2857	Compleix
<b>11</b>	2835	2857	Compleix

En quant a l'alçada de rebot, es comprova que, en el punt d'emplaçament de la barrera les alçades oscil·len entre els 3 i 5m (Veure annex 3), per tant, la barrera considerada de 6,0m d'alçada, compleix la normativa ONR 24810.

### 7.3 Ancoratges puntuals

Es considera la realització d'ancoratges puntuals sobre masses potencialment inestables als sectors de la capçalera de l'escarpament, el desprendiment dels quals sobrepassaria la capacitat d'aturada de l'estructura considerada per a la protecció passiva.



**Figura 57:** Estabilització local amb ancoratges de blocs potencialment inestables

La solució constructiva, consisteix en l'execució d'ancoratges de barra d'acer de diàmetre 25mm i una longitud de 4m, facilitant d'aquesta manera els treballs en vessants exposats o en condicions difícils, ja que la maquinària necessària per a instal·lar ancoratges d'aquestes dimensions és lleugera i portàtil, i permet treballar en condicions més complexes, sense dependre de maquinària pesada, com podria ser camions grua o perforadores de grans dimensions.

Es considera estabilitzar tots els blocs inestables, de volum superior a 3,3 m<sup>3</sup>, ja que els de menor mida, en cas de desprendiment, seran aturats per la pantalla dinàmica (veure apartat 7.2). Per a la localització dels blocs inestables, és necessari un treball exhaustiu de camp de tots els sectors de sortida de desprendiments i aquesta estabilització localitzada es

podria fer extensiva a altres blocs inestables que es puguin observar durant l'execució de les obres.

#### 7.4 Valoració econòmica

Es consideren una solució combinada de protecció consistent en:

Col·locació d'una barrera dinàmica de 6 metres d'alçada i una capacitat resistent de 3.000 KJ. Aquesta barrera es dimensiona per a protegir el sector de l'edificació de la borda, i no protegeix els prats adjacents.

Combinat amb la barrera, a la part més elevada del vessant, allà on s'originen el desprendiments, es considera l'estabilització mitjançant ancoratges, dels blocs inestables amb unes dimensions superior a 3,3 m<sup>3</sup>.

Prenent de referència el banc de preus de l'ITEC actual i altres actuacions similars, l'import estimat de les obres és de:

Solució 3		
Actuació	Amidaments	Import
Ancoratges locals	Ancoratges de 4m	32.930,00 €
Barrera	80 ml de Barrera 3000 KJ	93.600,00 €
Despeses complementàries		12.653,00 €
<b>TOTAL</b>		<b>139.183,00 €</b>

La proposta de protecció plantejada ha de ser precisada en el corresponent projecte constructiu, així com el cost de l'actuació.

## 8 Conclusions

L'objecte del present treball és la redacció de l'estudi de detall de la perillositat per desprendiments a l'àmbit del PAE de l'Artiga, Valarties, Naut Aran, i posterior proposta d'alternatives de protecció.

Primerament s'ha realitzat un estudi volumètric dels blocs caiguts, identificats durant la visita de camp i amb fotointerpretació. S'ha diferenciat diferents mostres de blocs classificats com (veure 3.3):

- **Molt recents:** a partir de blocs inventariats a la tartera. Aquesta tipologia de blocs, correspon als blocs amb indicis de caiguda considerats molt recents, en total 43 blocs. A aquests blocs se'ls hi assigna un període temporal de 10 anys.
- **Antics:** a partir de blocs inventariats a la tartera a partir de l'ortoimatge d'alta qualitat, en total s'han comptabilitzat 141 blocs. A aquests blocs, se'ls hi assigna un període temporal de 2.000 anys.

A partir de l'anàlisi de la informació d'inventari recopilada, s'han obtingut les variables per a establir els valors de freqüència i magnitud, necessàries per a estimar la perillositat. Per a fer aquest anàlisi i poder comparar conjunts de dades obtingudes en diferents fonts, és necessari normalitzar-les, obtenint el nombre de desprendiments ocorreguts per unitat espacial ( $\text{hm}^2$ ) i per unitat de temps (a). Obtenint, finalment, una corba de tendència a partir d'una equació potencial, per a cada classe de blocs.

Per a obtenir la **corba magnitud-freqüència** del vessant, és necessari combinar les corbes de tendència per als volums dels diferents períodes analitzats. A partir de les corbes és possible obtenir els volums de referència per als diferents períodes de retorn:

**Taula 12.** Volums de referència.

<i>T (anys)</i>	<i>V(m³)</i>
<b>1</b>	<b>0,2</b>
<b>3</b>	<b>0,5</b>
<b>10</b>	<b>1,3</b>
<b>30</b>	<b>3,3</b>
<b>100</b>	<b>9,0</b>
<b>300</b>	<b>22,5</b>
<b>1000</b>	<b>61,0</b>

Per a la **modelització** s'han utilitzat dos programaris:

- RockGIS: té per objectiu la definició de les trajectòries dels blocs caiguts al llarg del vessant.
- RocFall2: L'objectiu de la modelització és obtenir les variables necessàries per a determinar la perillositat, als diferents perfils simulats.

Per a la definició de la **perillositat**, s'ha analitzat cada trajectòria i energies, obtingudes a les simulacions per a cada escenari de referència, i s'ha zonificat d'acord amb la matriu de zonificació de la perillositat definida per l'ICGC (Figura 51). El límit de la perillositat baixa s'ha ajustat a partir de l'inventari de blocs despresos observats sobre el terreny.

Intensitat	Probabilitat d'ocurrència				
	Molt baixa	Baixa	Mitjana	Alta	Molt Alta
Energia (kJ)	>300 anys	100-300 anys	30-100 anys	10-30 anys	<10 anys
<20	Molt baixa	Baixa	Baixa	Mitjana	Mitjana
20-200	Baixa	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta
200-2.000	Baixa	Mitjana	Mitjana	Alta	Alta
2.000-20.000	Mitjana	Mitjana	Alta	Alta	Molt alta
>20.000	Mitjana	Alta	Alta	Molt alta	Molt alta

**Figura 58.** Matriu de zonificació de la perillositat enfront la caiguda de roques, en funció de la probabilitat d'ocurrència i de la intensitat (energia dels blocs). ICGC 2022.

D'aquesta manera és possible definir el mapa de zonificació de perillositat (Figura 54 )

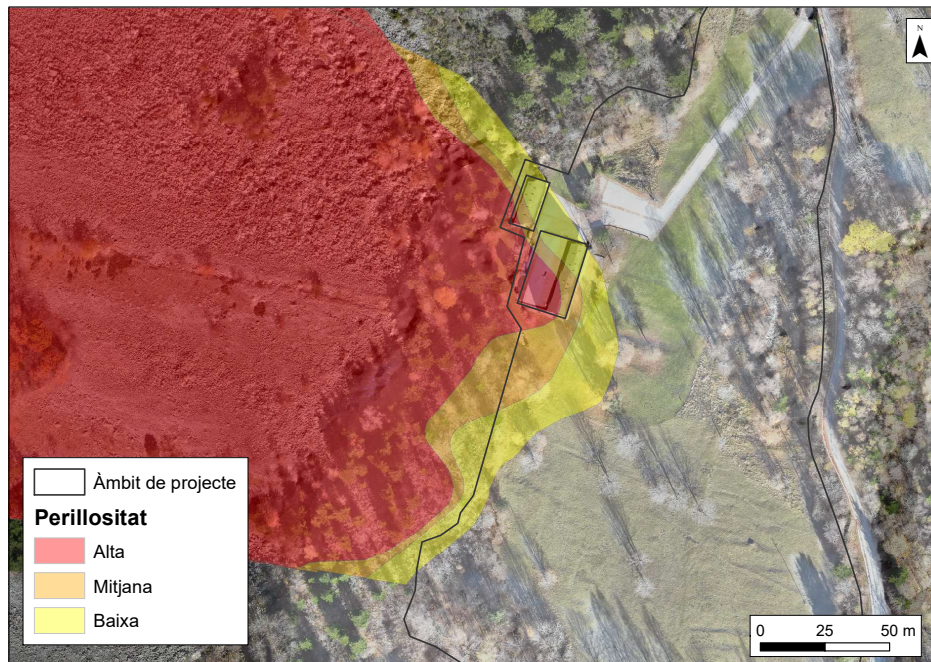


Figura 59. Mapa de zonificació de la perillositat.

Donat que l'àmbit de projecte es troba en un escenari de zona de sortida, trajecte i arribada, la **proposta d'actuació de defensa**, permet plantejar-la a la zona superior del vessant, on es pot actuar de forma activa, mitjançant estabilització, o bé a la base de la tartera, de forma passiva, mitjançant protecció.

Es plantegen les següents mesures de protecció i estabilització:

- Solucions de protecció (passives): tenen per objectiu aturar els blocs despresos, al peu de la tartera. Consisteix en la Instal·lació de pantalles dinàmiques.

Amb els resultats obtinguts a les simulacions, es considera la col·locació d'una barrera de 80m de longitud, de 3.000KJ de resistència i 6,0m d'alçada, ubicada al peu de la tartera.

- Solucions d'estabilització (actives): de forma complementaria es considera la realització d'ancoratges puntuals sobre masses potencialment inestables, de volum superior a 3,3m<sup>3</sup>, als sectors de la capçalera de l'escarpament, el desprendiment dels



quals sobrepassaria la capacitat d'aturada de l'estructura considerada per a la protecció passiva.

L'**import estimat** de les obres, prenent de referència el banc de preus de l'ITEC actual i altres actuacions similars, ascendeix a:

Solució 3		
Actuació	Amidaments	Import
Ancoratges locals	Ancoratges de 4m	32.930,00 €
Barrera	80 ml de Barrera 3000 KJ	93.600,00 €
Despeses complementàries		12.653,00 €
<b>TOTAL</b>		<b>139.183,00 €</b>

Barcelona, març de 2024

Daniel Xifre de la Prada  
Enginyer Geòleg  
Col. Núm. 19074-G  
GeoNeu Risk

Pere Oller i Figueras  
Geòleg  
Col. Núm. 7444  
GeoNeu Risk

## ANNEX 1: ESTACIÓ GEOMECÀNICA



## ANNEX 2: INVENTARI DE BLOCS

Codi	Data_registre	Litologia	Edat	Data_aprox	Forma	Estabilitat	Y			Foto	Observacions
							X (cm)	(cm)	Z (cm)		
1	Point		0	Molt recent	Fusiforme		80	60	40		0,19
2	Point		0	Molt recent	Prismatica		50	20	16		0,02
3	Point		0	Molt recent	Poliedrica		60	40	40		0,10
4	Point		0	Molt recent	Planar		50	30	20		0,03
5	Point		0	Molt recent	Planar		80	90	50		0,36
6	Point		0	Molt recent	Cubica		80	70	60		0,34
7	Point		0	Molt recent	Cubica		100	70	50		0,35
8	Point		0	Molt recent	Complexa		60	40	70		0,17
9	Point		0	Molt recent	Complexa		40	40	25		0,04
10	Point		0	Molt recent	Cubica		50	40	30		0,06
11	Point		0	Molt recent	Complexa		70	50	30		0,11
12	Point		0	Molt recent	Complexa		90	80	50		0,36
13	Point		0	Molt recent	Complexa		40	30	30		0,04
14	Point		0	Molt recent	Complexa		40	30	20		0,02
16	Point		0	Molt recent	Complexa		170	110	80		1,50
17	Point		0	Molt recent	Complexa		110	80	60		0,53
18	Point		0	Molt recent	Complexa		90	100	60		0,54
19	Point		0	Molt recent	Complexa		60	80	50		0,24
20	Point		0	Molt recent	Complexa		40	30	20		0,02
21	Point		0	Molt recent	Complexa		80	50	40		0,16
22	Point		0	Molt recent	Planar		60	50	30		0,09
23	Point		0	Molt recent	Complexa		60	25	40		0,06
24	Point		0	Molt recent	Complexa		30	30	15		0,01
25	Point		0	Molt recent	Complexa		100	70	60		0,42

Codi	Data_registre	Litologia	Edat	Data_aprox	Forma	Estabilitat	Y			Foto	Observacions
							X (cm)	(cm)	Z (cm)		
26	Point		0	Molt recent	Complexa		80	60	50	0,24	
27	Point		0	Molt recent	Complexa		40	30	30	0,04	
28	Point		0	Molt recent	Complexa		80	40	70	0,22	
29	Point		0	Molt recent	Complexa		40	40	20	0,03	
30	Point		0	Molt recent	Complexa		90	80	50	0,36	
31	Point		0	Molt recent	Planar		50	70	30	0,11	
32	Point		0	Molt recent	Complexa		80	50	30	0,12	
33	Point		0	Molt recent	Planar		60	60	20	0,07	
34	Point		0	Molt recent	Planar		50	40	20	0,04	
35	Point		0	Molt recent	Complexa		20	50	50	0,05	
36	Point		0	Molt recent	Complexa		50	50	20	0,05	
37	Point		0	Molt recent	Planar		50	50	20	0,05	
38	Point		0	Molt recent	Complexa		50	70	70	0,25	
39	Point		0	Molt recent	Complexa		80	50	40	0,16	
40	Point		0	Molt recent	Planar		60	50	20	0,06	
41	Point		0	Molt recent	Planar		40	40	20	0,03	
42	Point		0	Molt recent	Planar		40	50	20	0,04	
43	Point		0	Molt recent	Planar		70	70	35	0,17	
44	Point		0	Molt recent	Planar		40	40	20	0,03	
101	Point		0	Antic			320	220	150	10,56	
102	Point		0	Antic			370	170	100	6,29	
103	Point		0	Antic			180	240	150	6,48	
104	Point		0	Antic			100	130	100	1,30	
105	Point		0	Antic			500	370	330	61,05	
106	Point		0	Antic			170	180	220	6,73	
107	Point		0	Antic			150,00	60,00	80,00	0,72	

Codi	Data_registre	Litologia	Edat	Data_aprox	Forma	Estabilitat	Y			Foto	Observacions	
							X (cm)	(cm)	Z (cm)			
108	Point		0 Antic				190	90	150		2,57	
109	Point		0 Antic				100	100	50		0,50	
110	Point		0 Antic				180,00	60,00	60,00		0,65	
111	Point		0 Antic				90	170	220		3,37	
112	Point		0 Antic				220	90	190		3,76	
113	Point		Antic				140	30	70		0,29	
114	Point		0 Antic				340	260	170		15,03	
115	Point		0 Antic				260	190	120		5,93	
116	Point		0 Antic				320	260	170		14,14	
117	Point		0 Antic				300	180	180		9,72	
118	Point		0 Antic				220	120	170		4,49	
119	Point		0 Antic				250	160	160		6,40	
120	Point		0 Antic				250	130	160		5,20	
121	Point		0 Antic				320	140	150		6,72	
122	Point		0 Antic				260	130	130		4,39	
123	Point		0 Antic				180	90	110		1,78	
123	Point		0 Antic				240	180	180		7,78	
124	Point		0 Antic				250	140	130		4,55	
124	Point		0 Antic				260	190	180		8,89	
125	Point		0 Antic				250	90	100		2,25	
125	Point		0 Antic				170	140	160		3,81	
126	Point		0 Antic				360	260	170		15,91	
126	Point		0 Antic				190	120	110		2,51	
127	Point		0 Antic				280	180	110		5,54	
127	Point		0 Antic				260	160	140		5,82	
128	Point		0 Antic				240,00	50,00	80,00		0,96	

Codi	Data_registre	Litologia	Edat	Data_aprox	Forma	Estabilitat	Y			Foto	Observacions	
							X (cm)	(cm)	Z (cm)			
128	Point		0 Antic				290	260	100		7,54	
129	Point		0 Antic				170	110	130		2,43	
129	Point		0 Antic				490	430	210		44,25	
130	Point		0 Antic				190	140	190		5,05	
130	Point		0 Antic				190	150	110		3,14	
131	Point		0 Antic				160,00	90,00	70,00		1,01	
131	Point		0 Antic				210	140	120		3,53	
132	Point		0 Antic				120	120	90		1,30	
132	Point		0 Antic				200	190	210		7,98	
133	Point		0 Antic				400	120	90		4,32	
134	Point		0 Antic				200	120	140		3,36	
135	Point		0 Antic				140	150	120		2,52	
136	Point		0 Antic				200,00	60,00	100,00		1,20	
137	Point		0 Antic				140	120	100		1,68	
138	Point		0 Antic				280	100	80		2,24	
139	Point		0 Antic				180	130	130		3,04	
140	Point		0 Antic				300	230	90		6,21	
141	Point		0 Antic				240	220	60		3,17	
142	Point		0 Antic				270	170	120		5,51	
143	Point		0 Antic				330	230	180		13,66	
144	Point		0 Antic				450	250	180		20,25	
145	Point		0 Antic				560	260	160		23,30	
146	Point		0 Antic				260	210	230		12,56	
147	Point		0 Antic				390	330	120		15,44	
148	Point		0 Antic				240	230	130		7,18	
149	Point		0 Antic				270	240	60		3,89	



Codi	Data_registre	Litologia	Edat	Data_aprox	Forma	Estabilitat	Y			Foto	Observacions
							X (cm)	(cm)	Z (cm)		
150	Point		0 Antic				430	200	180	15,48	
151	Point		0 Antic				260	180	130	6,08	
152	Point		0 Antic				230	230	140	7,41	
153	Point		0 Antic				340	170	150	8,67	
154	Point		0 Antic				290	190	100	5,51	
			Recent				420	120	100	5,04	Cicatriu 1
			Recent				520	310	280	45,14	Cicatriu 2
			Recent				570	460	100	26,22	Cicatriu 3
			Recent				550	180	110	10,89	Cicatriu 4
			Recent				360	170	110	6,73	Cicatriu 5
			Recent				480	419	100	20,11	Cicatriu 6
			Recent				560	230	170	21,90	Cicatriu 7
			Recent				560	530	160	47,49	Cicatriu 8
			Recent				170	450	70	5,36	Cicatriu 9
			Recent				460	550	120	30,36	Cicatriu 10
			Recent				150	340	100	5,10	Cicatriu 11
			Recent				210	160	80	2,69	Cicatriu 12
Recent				180	230	100	4,14	Cicatriu 13			

## ANNEX 3: RESULTAT DE LES SIMULACIONS

## Taula de continguts

---

1	PERFIL 1 .....	5
1.1	Combinada .....	5
1.2	V 3,3 m3 .....	6
1.3	V 9,0 m3 .....	7
1.4	V 22,5 m3 .....	8
1.5	V 61,0 m3 .....	10
2	PERFIL 2 .....	11
2.1	Combinada .....	11
2.2	V 3,3 m3 .....	12
2.3	V 9,0 m3 .....	14
2.4	V 22,5 m3 .....	15
2.5	V 61,0 m3 .....	16
3	PERFIL 3 .....	18
3.1	Combinada .....	18
3.2	V 3,3 m3 .....	19
3.3	V 9,0 m3 .....	20
3.4	V 22,5 m3 .....	22
3.5	V 61,0 m3 .....	23
4	PERFIL 4 .....	24
4.1	Combinada .....	24
4.2	V 3,3 m3 .....	26

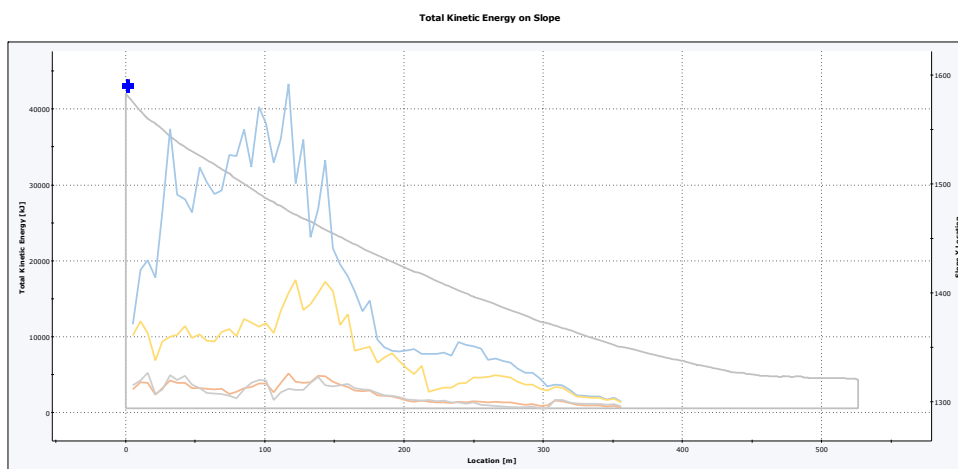
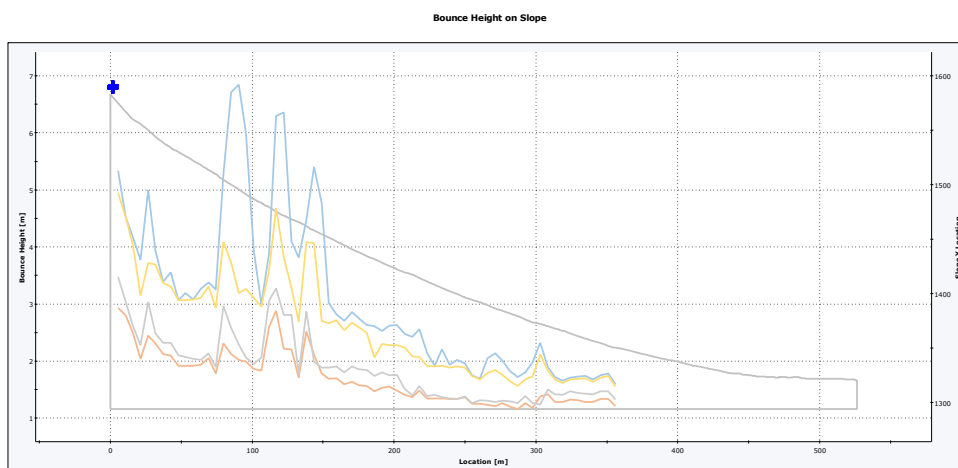
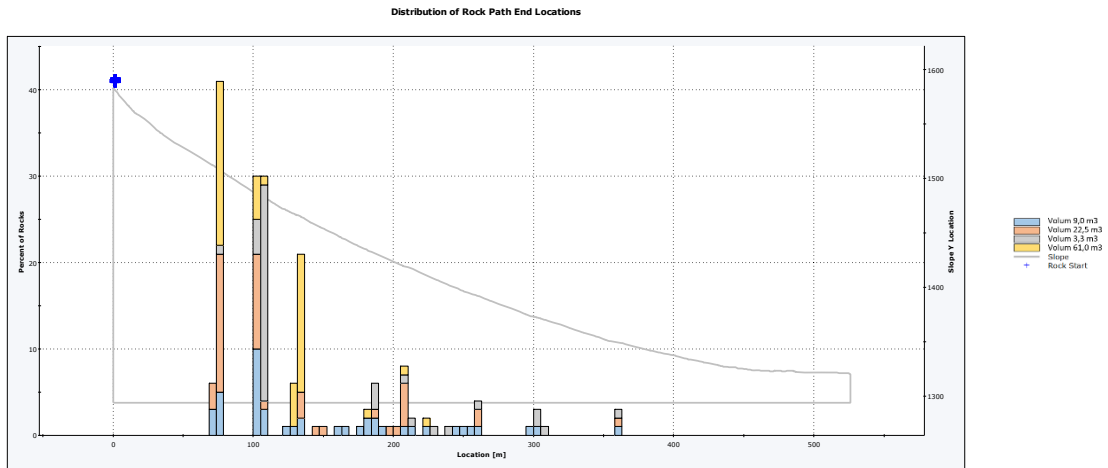
4.3	V 9,0 m3 .....	28
4.4	V 22,5 m3 .....	29
4.5	V 61,0 m3 .....	30
5	PERFIL 5 .....	32
5.1	Combinat .....	32
5.2	V 3,3 m3 .....	33
5.3	V 9,0 m3 .....	34
5.4	V 22,5 m3 .....	36
5.5	V 61,0 m3 .....	37
6	PERFIL 6 .....	38
6.1	Combinat .....	38
6.2	V 3,3 m3 .....	40
6.3	V 9,0 m3 .....	42
6.4	V 22,5 m3 .....	43
6.5	V 61,0 m3 .....	44
7	PERFIL 7 .....	46
7.1	Combinat .....	46
7.2	V 3,3 m3 .....	48
7.3	V 9,0 m3 .....	50
7.4	V 22,5 m3 .....	51
7.5	V 61,0 m3 .....	52
8	PERFIL 8 .....	54

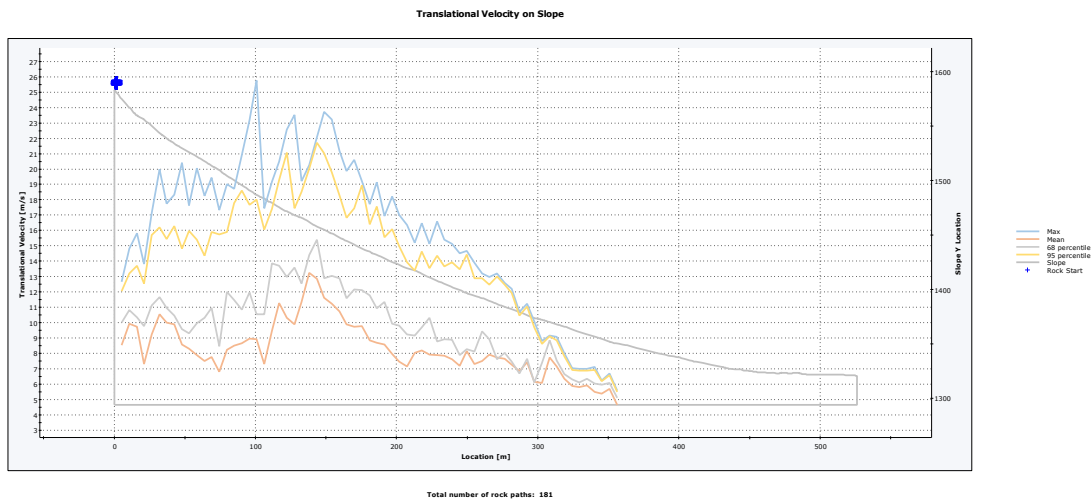
8.1	Combinats .....	54
8.2	V 3,3 m3 .....	54
8.3	V 9,0 m3 .....	55
8.4	V 22,5 m3 .....	57
8.5	V 61,0 m3 .....	58
9	PERFIL 9 .....	59
9.1	Combinat .....	59
9.2	V 3,3 m3 .....	61
9.3	V 9,0 m3 .....	62
9.4	V 22,5 m3 .....	63
9.5	V 61,0 m3 .....	65
10	PERFIL 10 .....	66
10.1	Combinat .....	66
10.2	V 3,3 m3 .....	68
10.3	V 9,0 m3 .....	69
10.4	V 22,5 m3 .....	71
10.5	V 61,0 m3 .....	72
11	PERFIL 11 .....	73
11.1	Combinat .....	73
11.2	V 3,3 m3 .....	74
11.3	V 9,0 m3 .....	75
11.4	V 22,5 m3 .....	76

11.5	V 61,0 m3 .....	78
12	PERFIL 12 .....	79
12.1	Combinats .....	79
12.2	V 3,3 m3 .....	79
12.3	V 9,0 m3 .....	81
12.4	V 22,5 m3 .....	82
12.5	V 61,0 m3 .....	83
13	PERFIL 13 .....	85
13.1	Combinat .....	85
13.2	V 3,3 m3 .....	87
13.3	V 9,0 m3 .....	88
13.4	V 22,5 m3 .....	89
13.5	V 61,0 m3 .....	91
14	PERFIL 14 .....	92
14.1	Combinat .....	92
14.2	V 3,3 m3 .....	92
14.3	V 9,0 m3 .....	94
14.4	V 22,5 m3 .....	95
14.5	V 61,0 m3 .....	96

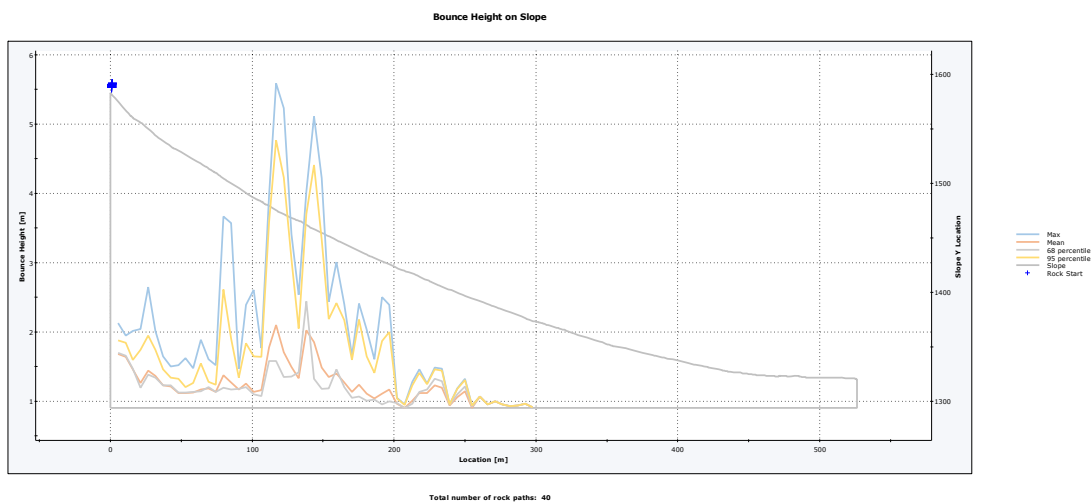
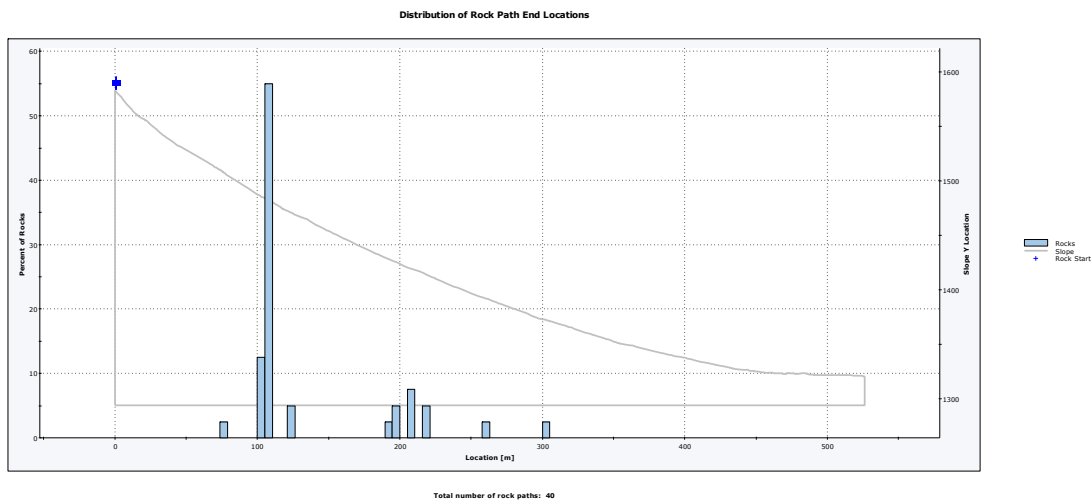
## 1 PERFIL 1

### 1.1 Combinada

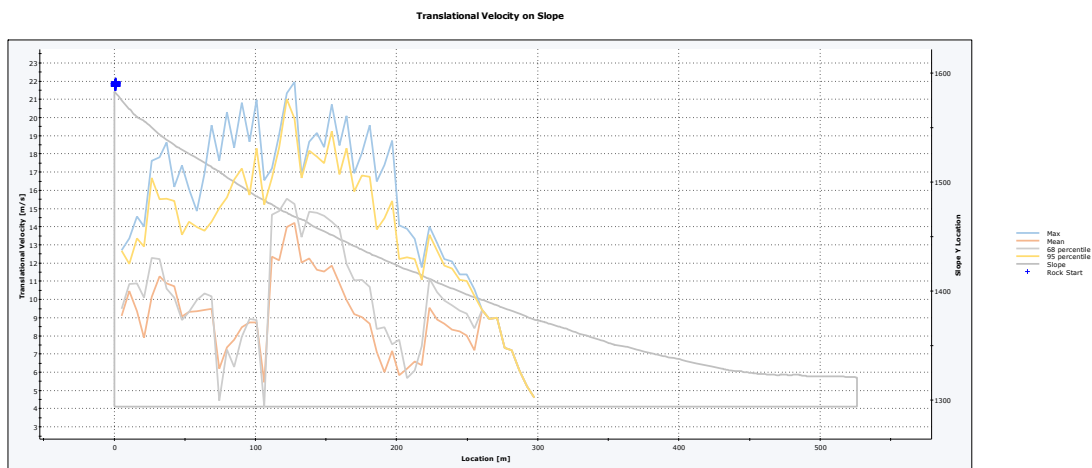
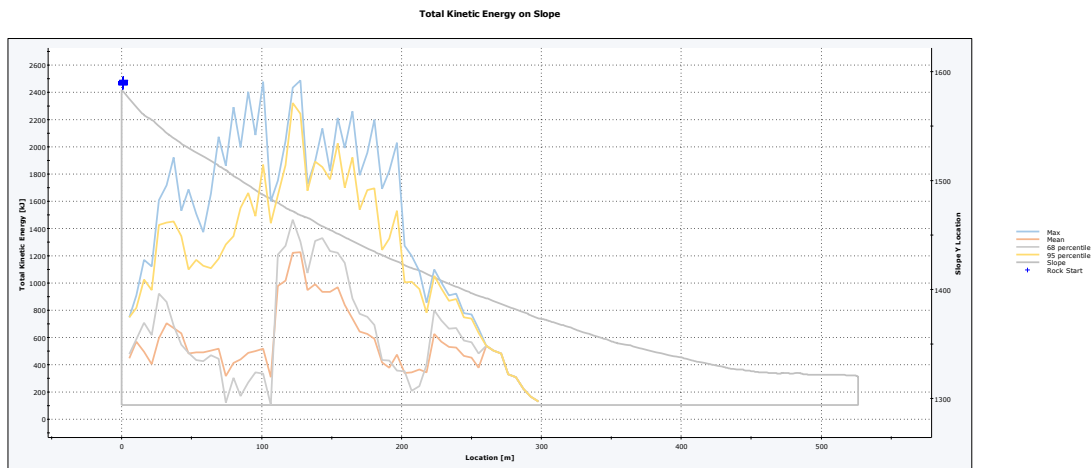




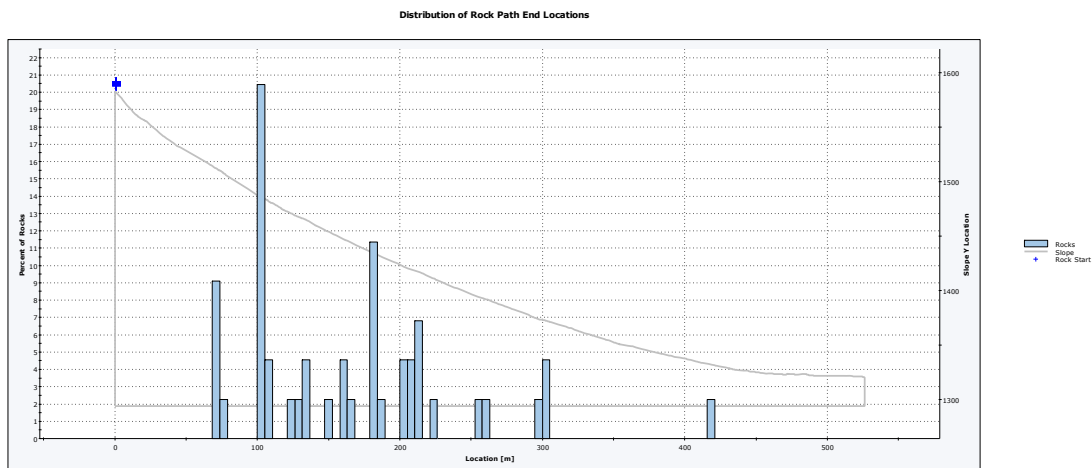
## 1.2 V 3,3 m3

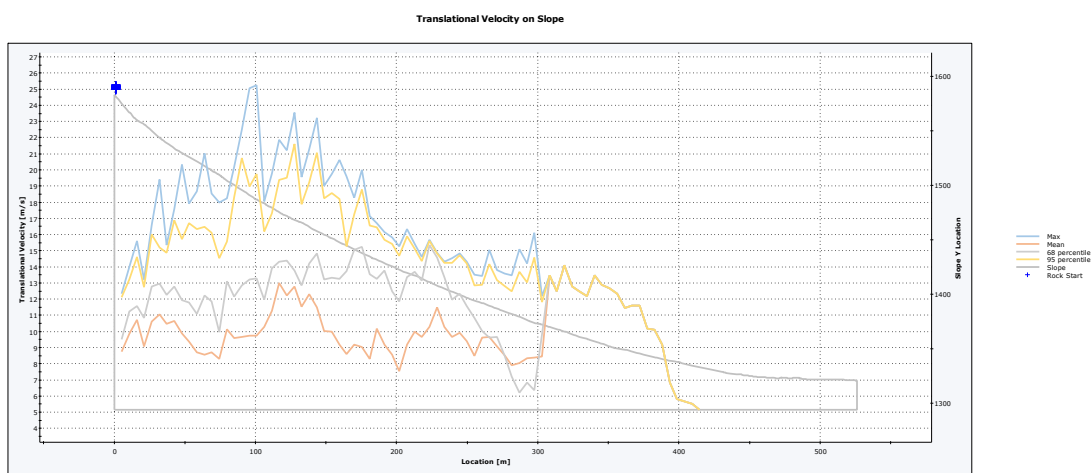
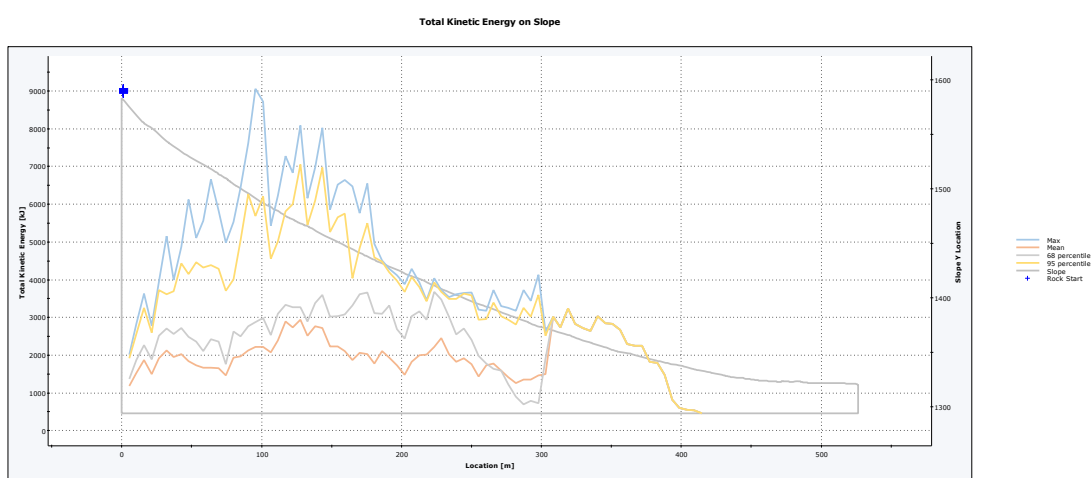
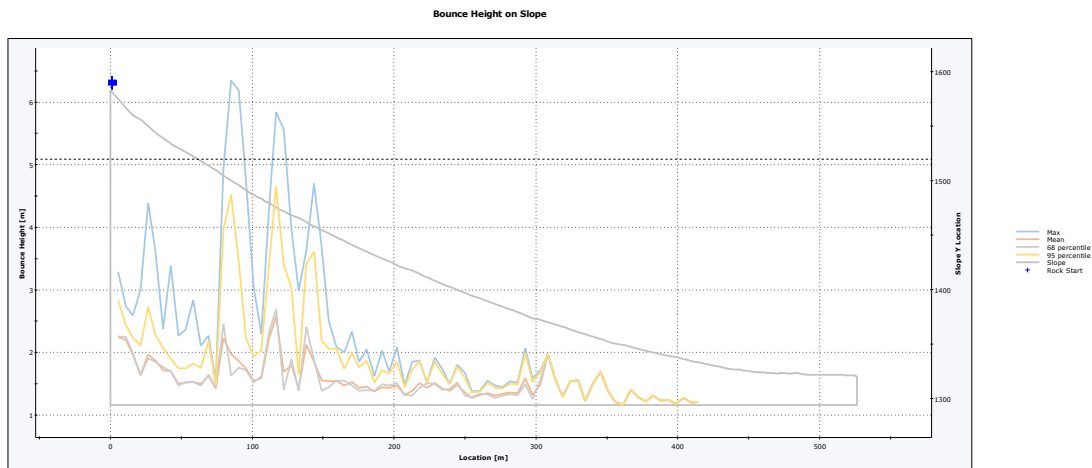






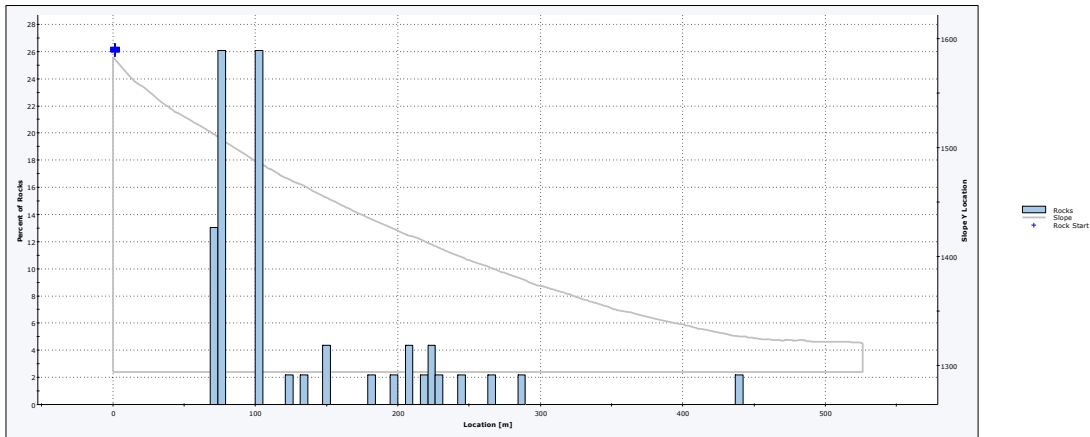
### 1.3 V9,0 m3





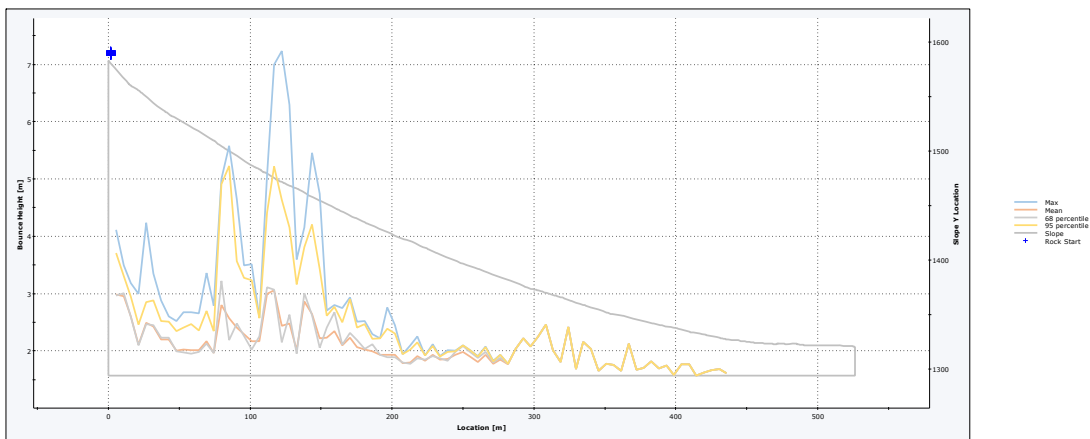
**1.4 V 22,5 m3**

Distribution of Rock Path End Locations



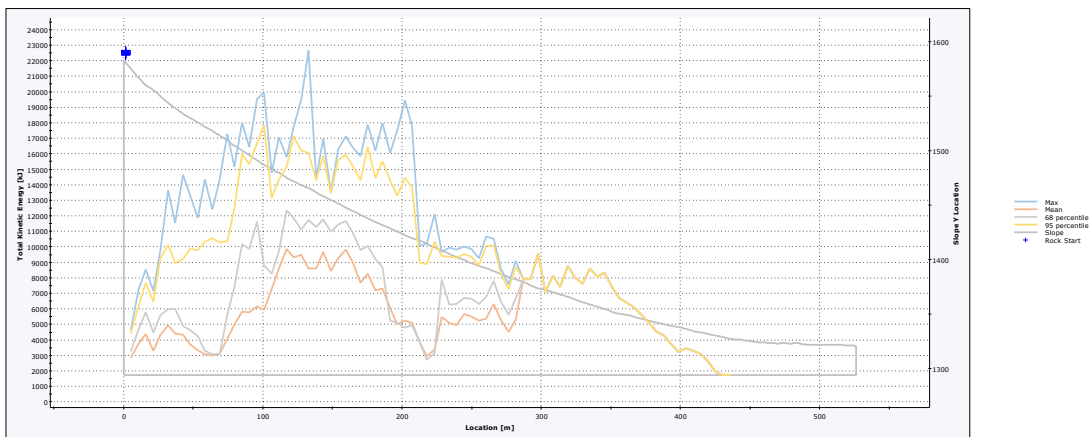
Total number of rock paths: 46

Bounce Height on Slope

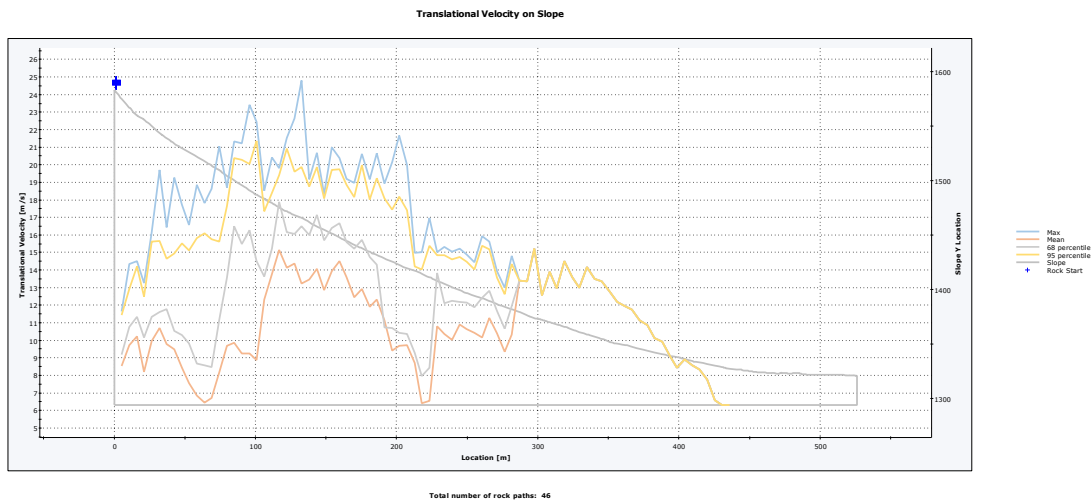


Total number of rock paths: 46

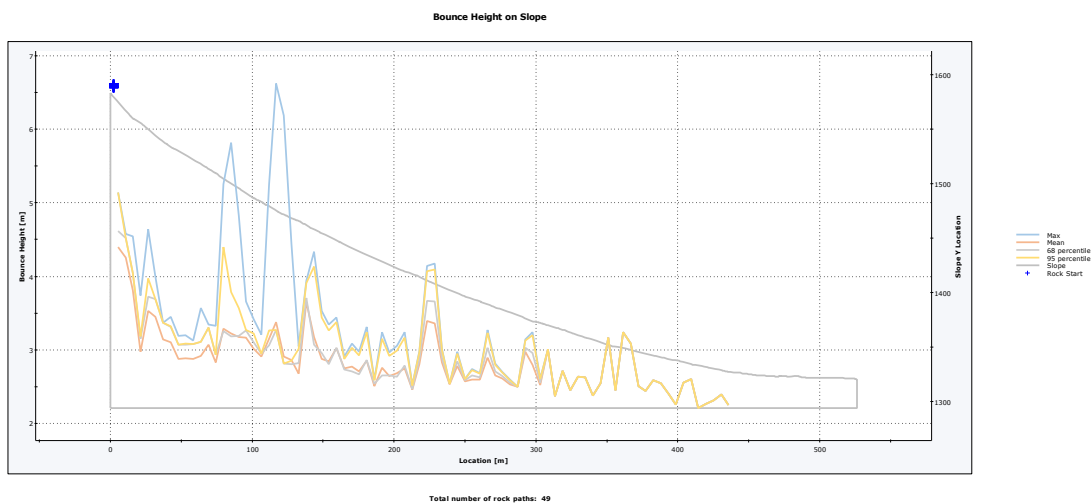
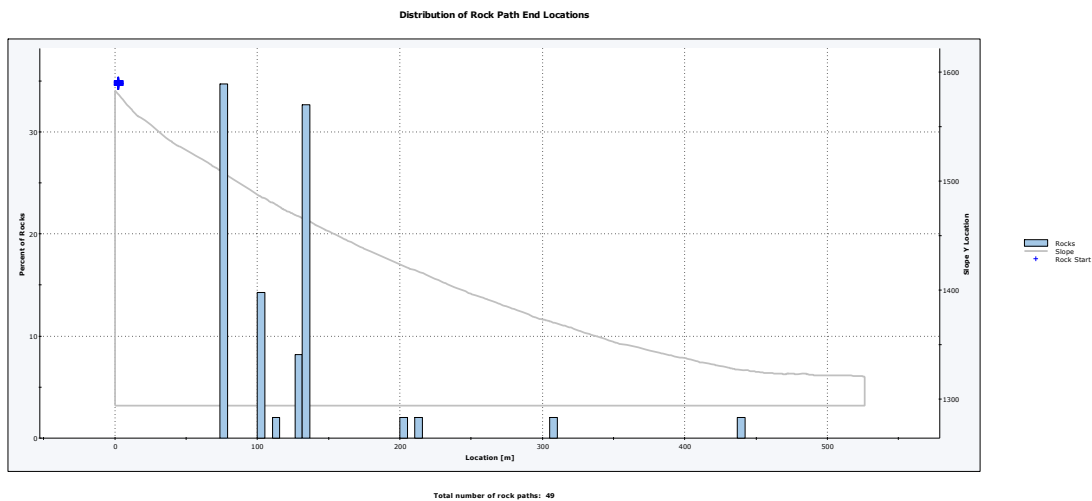
Total Kinetic Energy on Slope

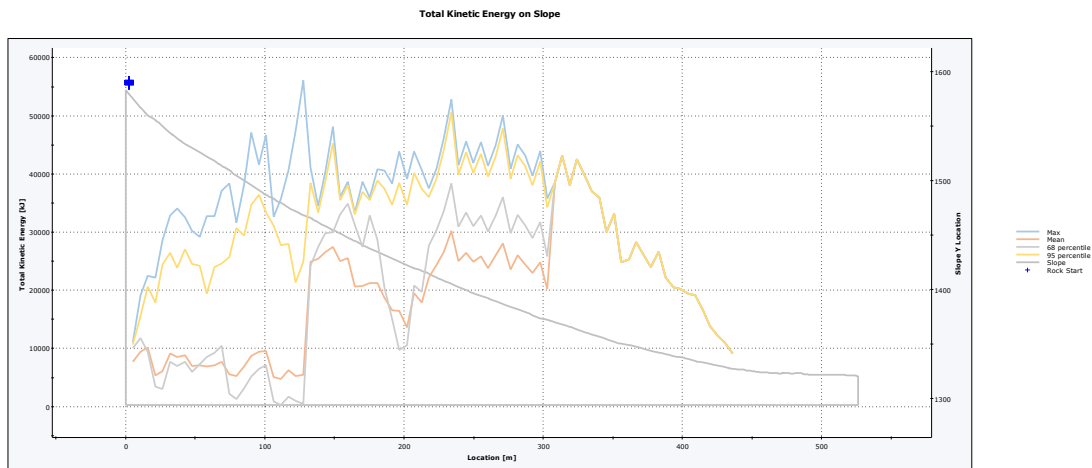


Total number of rock paths: 46

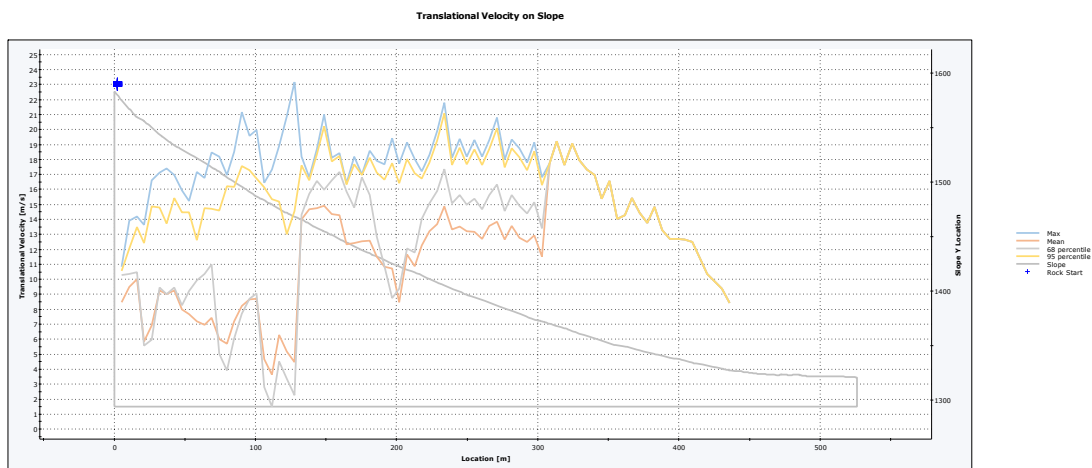


### 1.5 V 61,0 m3





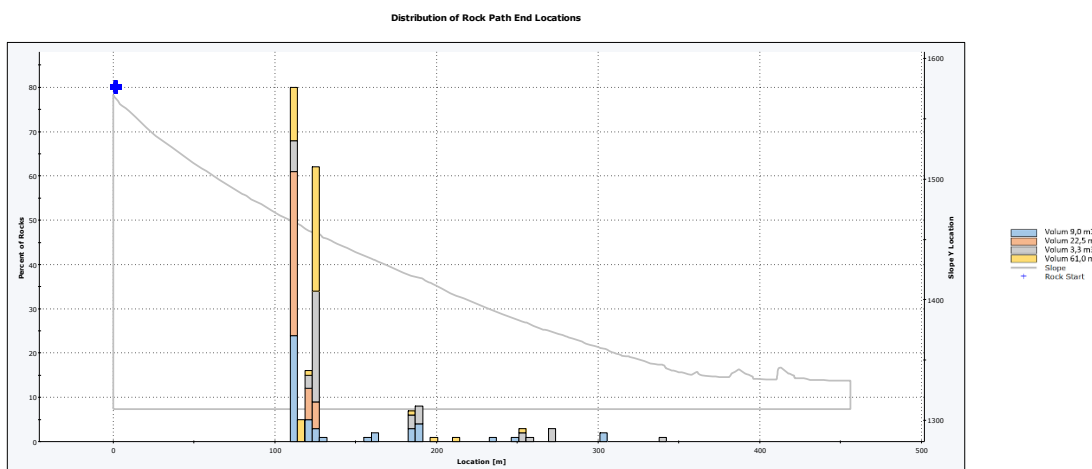
Total number of rock paths: 49



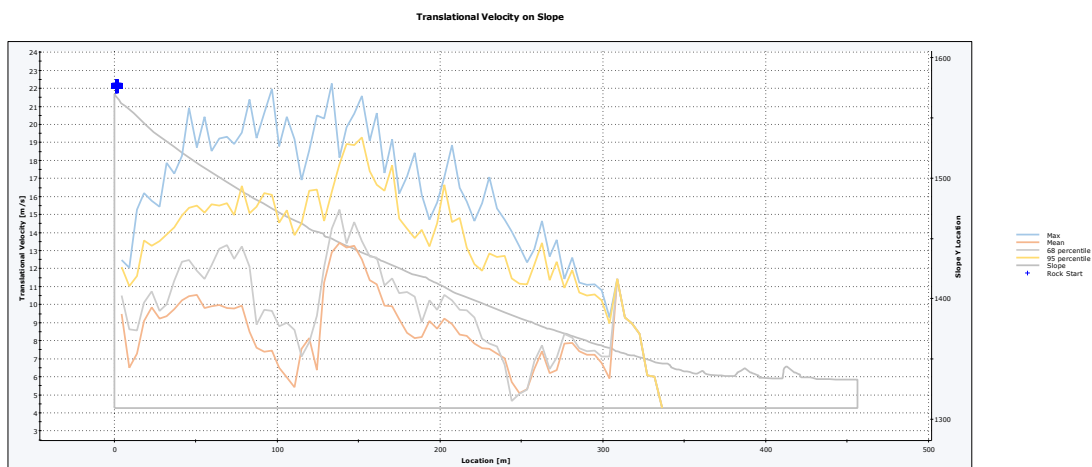
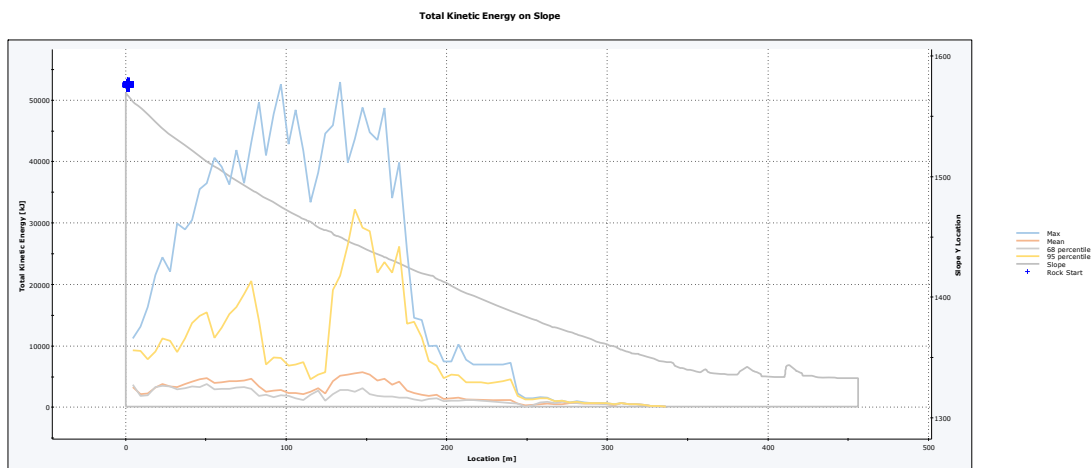
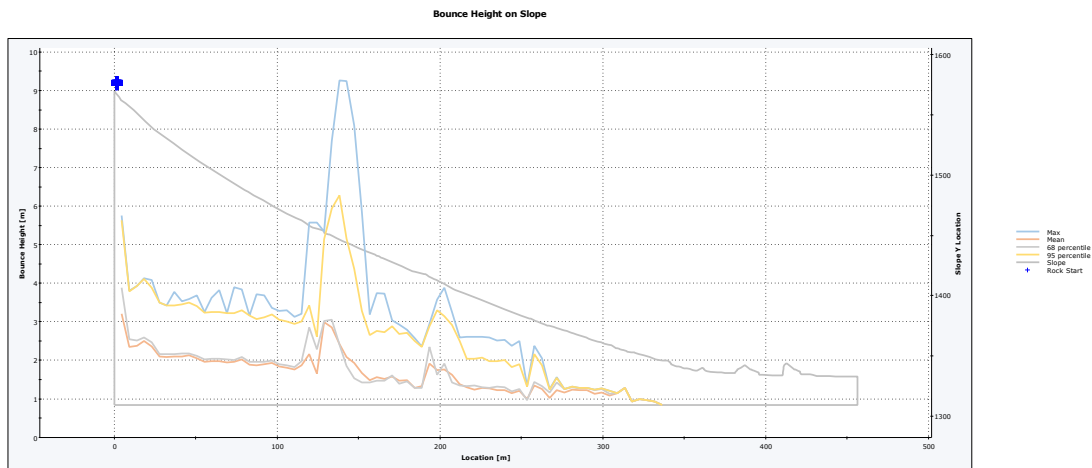
Total number of rock paths: 49

## 2 PERFIL 2

### 2.1 Combinada

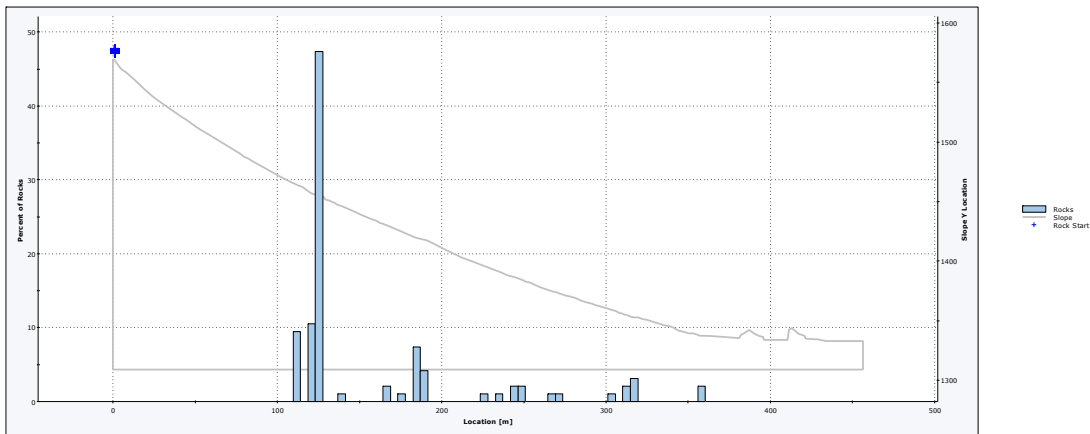


Total number of rock paths: 196



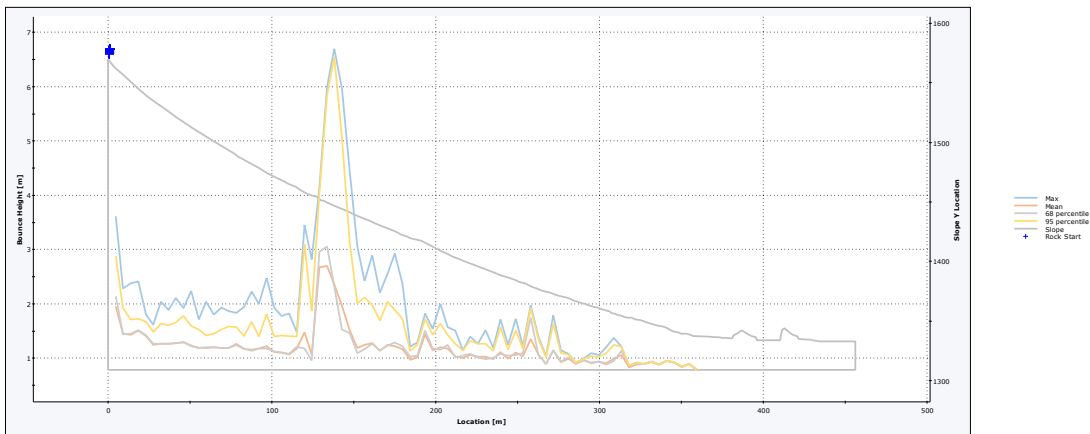
## 2.2 V 3,3 m3

Distribution of Rock Path End Locations



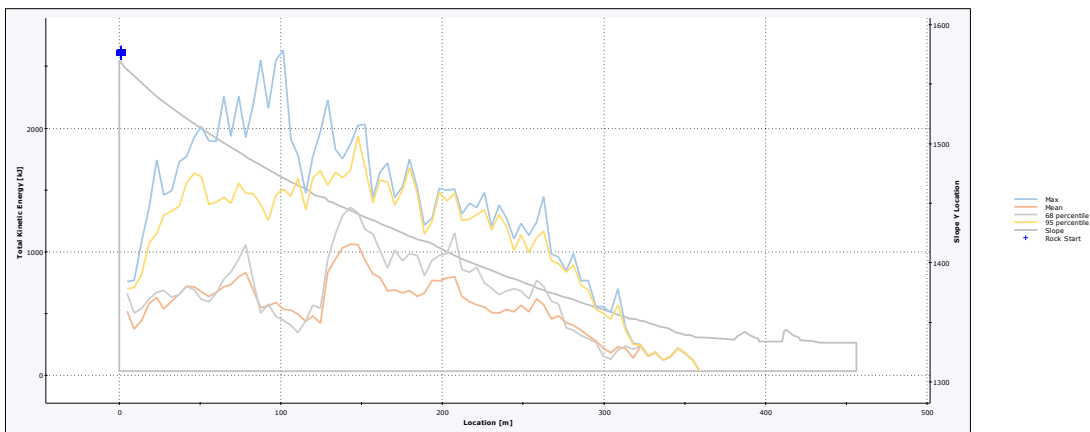
Total number of rock paths: 95

Bounce Height on Slope

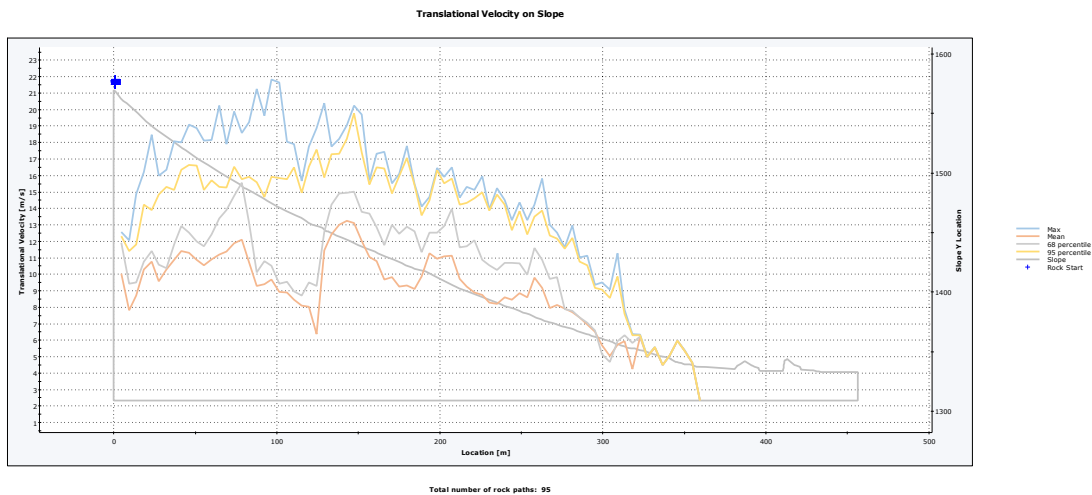


Total number of rock paths: 95

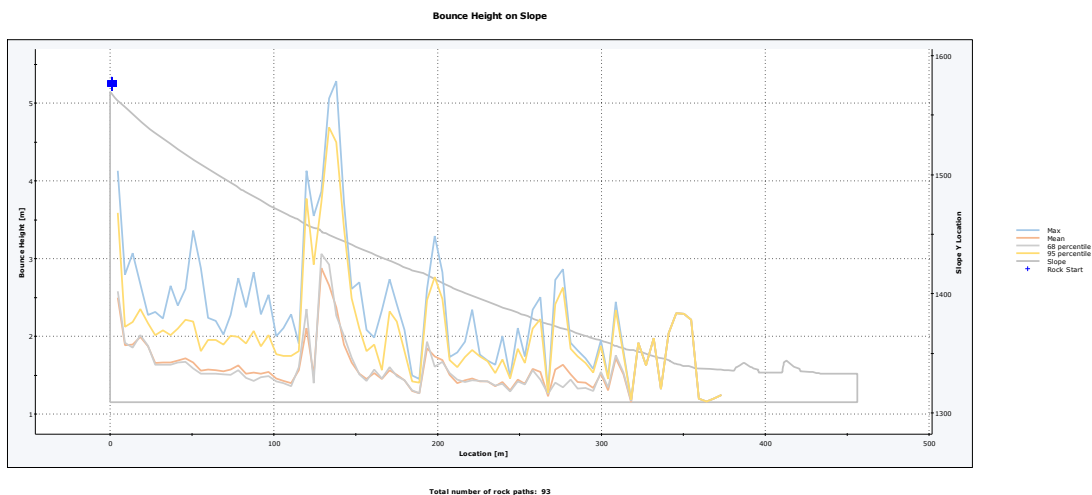
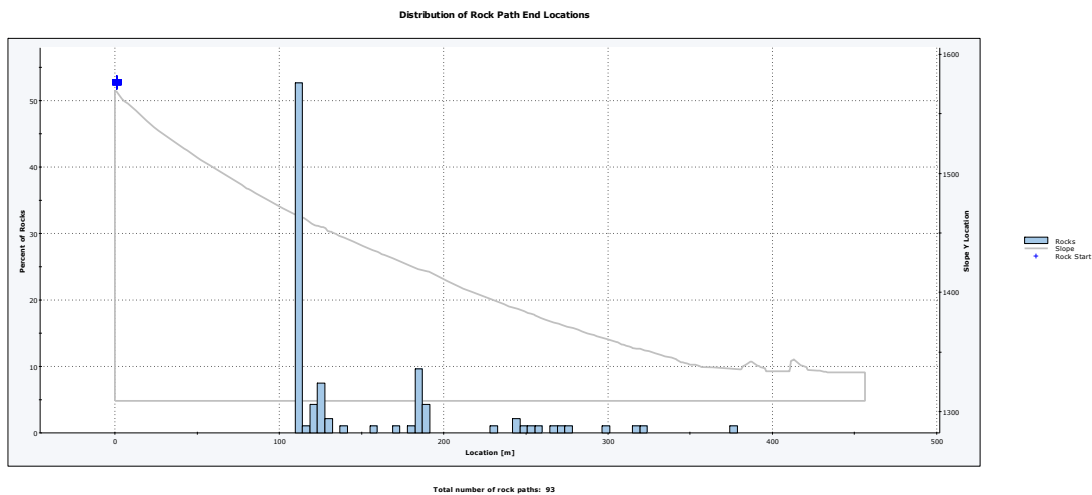
Total Kinetic Energy on Slope



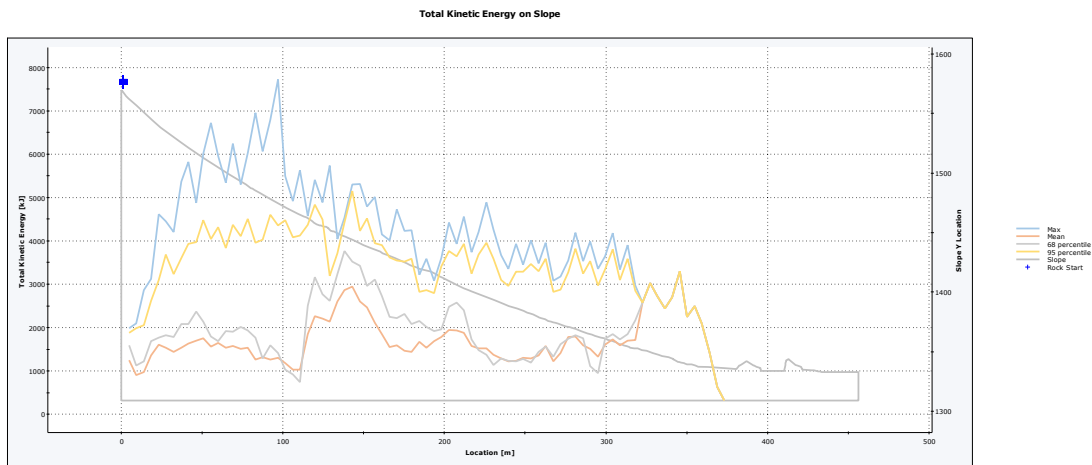
Total number of rock paths: 95



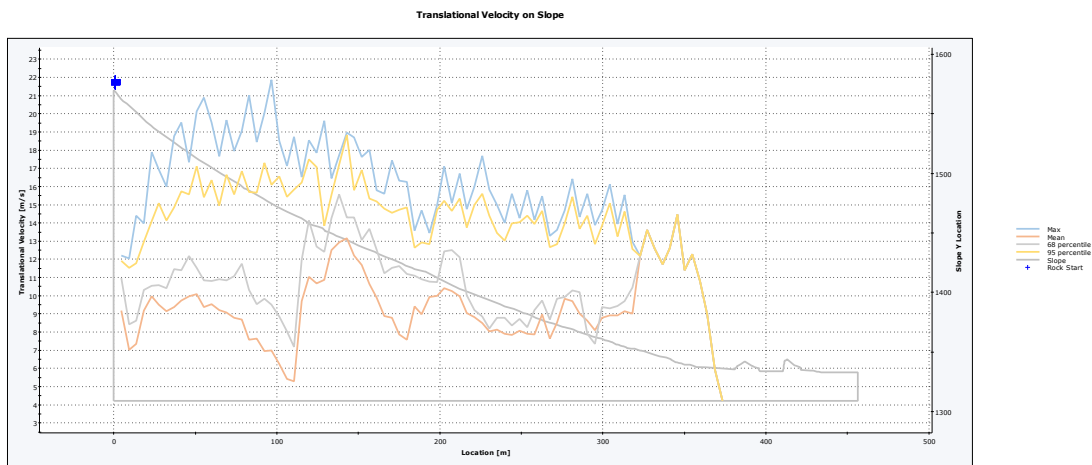
### 2.3 V 9,0 m3





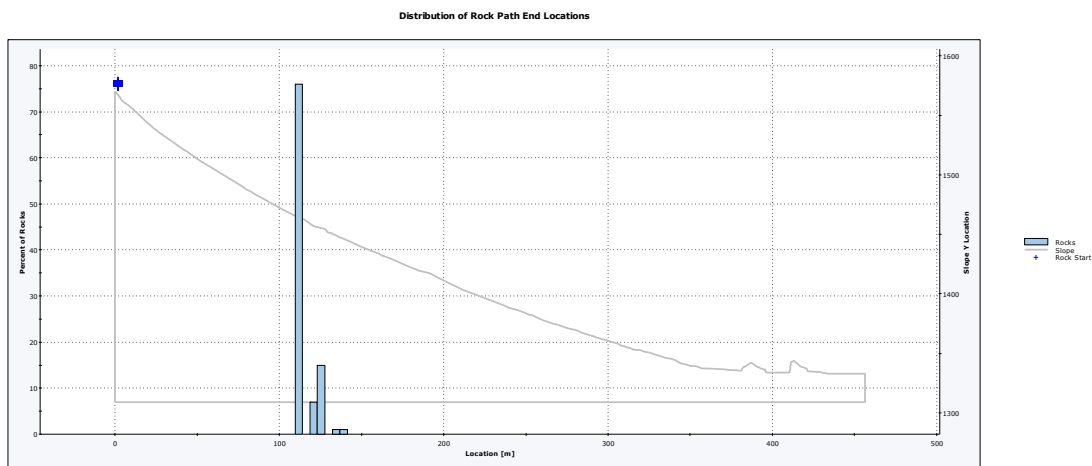


Total number of rock paths: 93

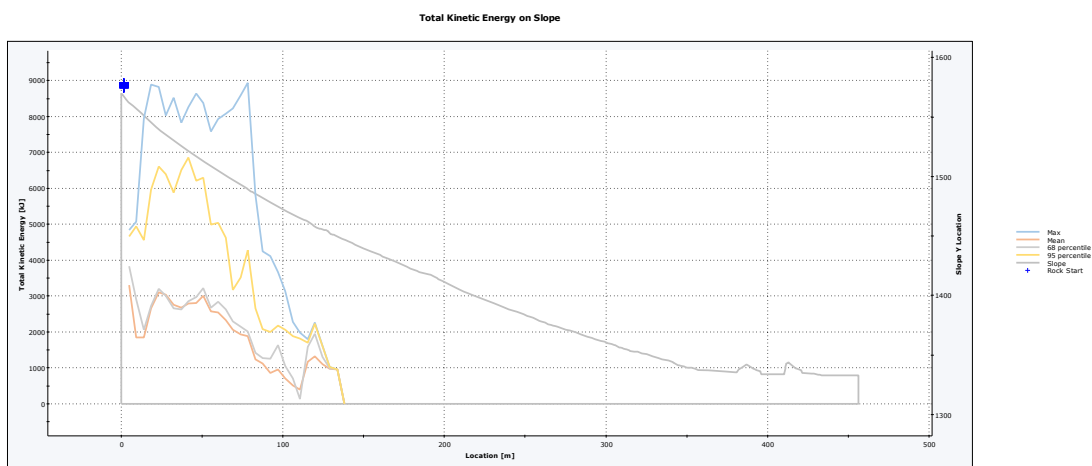
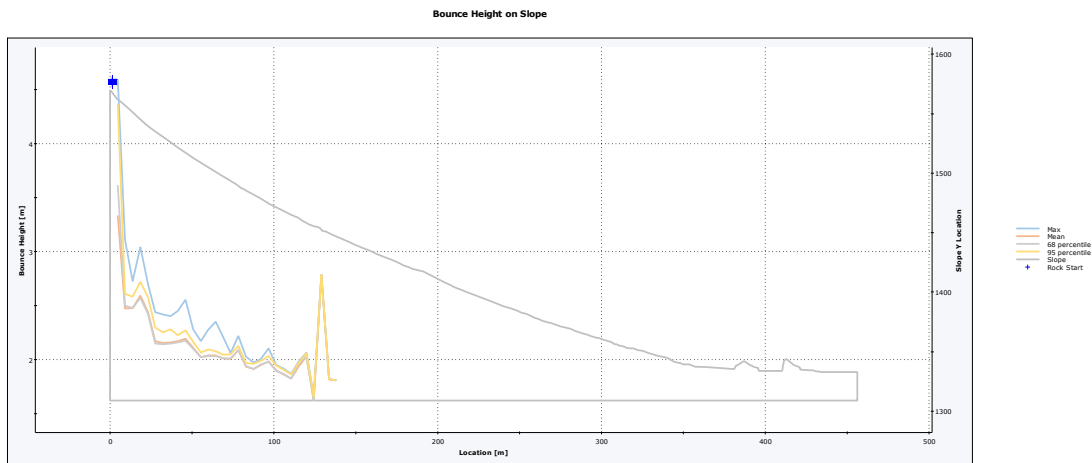


Total number of rock paths: 93

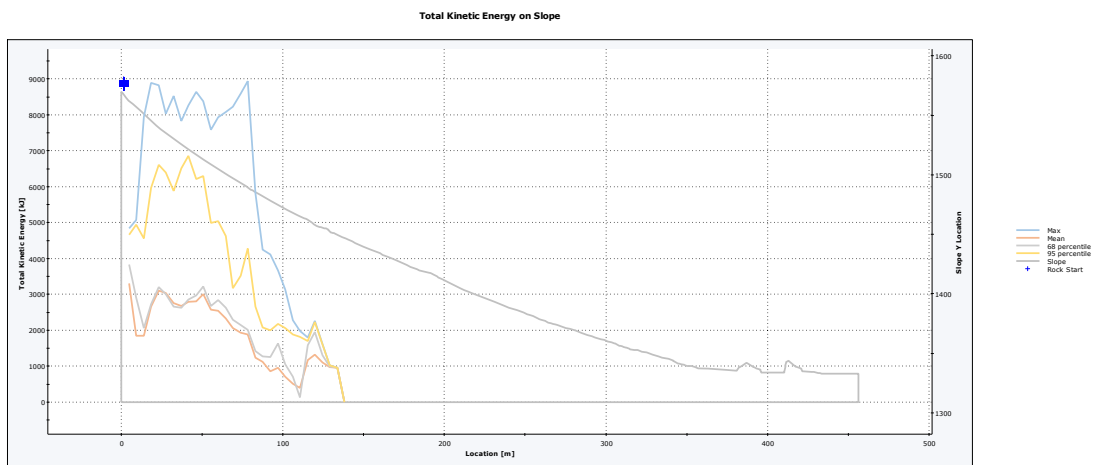
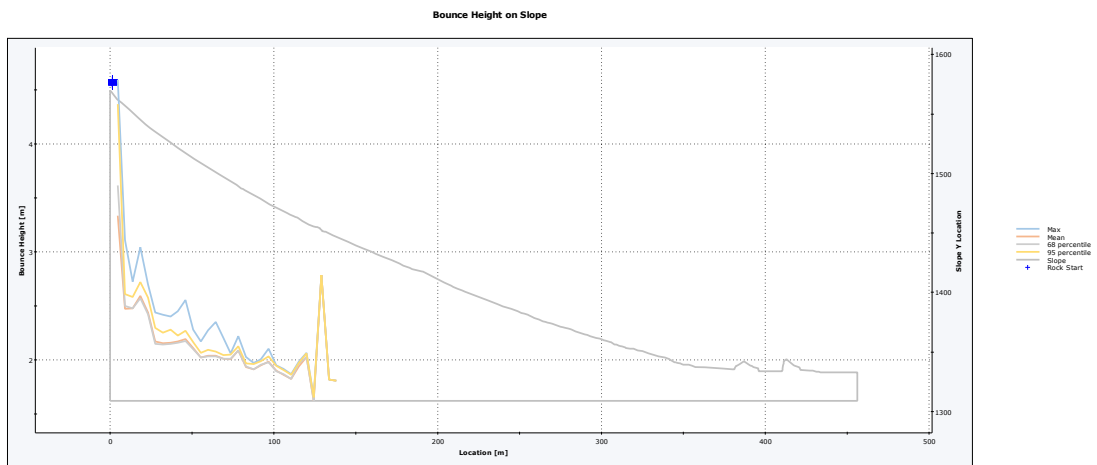
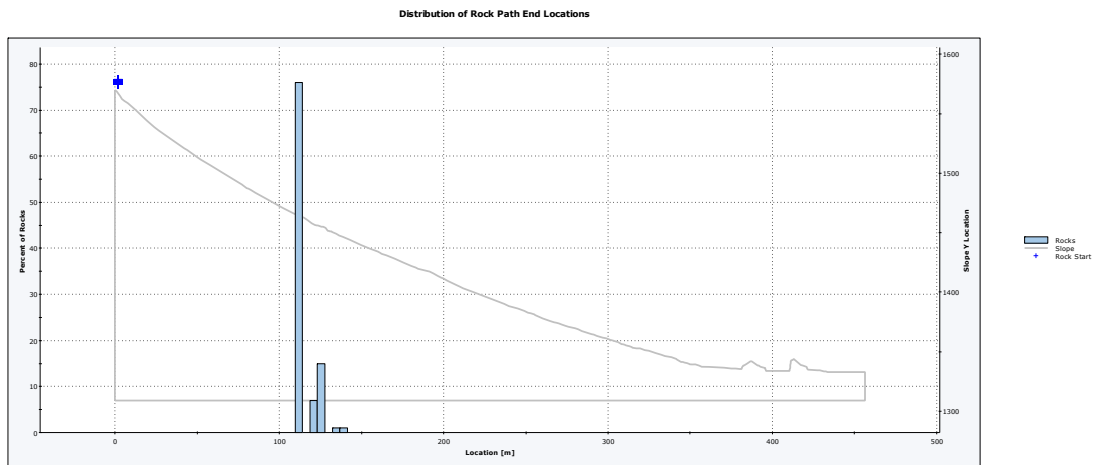
## 2.4 V 22,5 m3

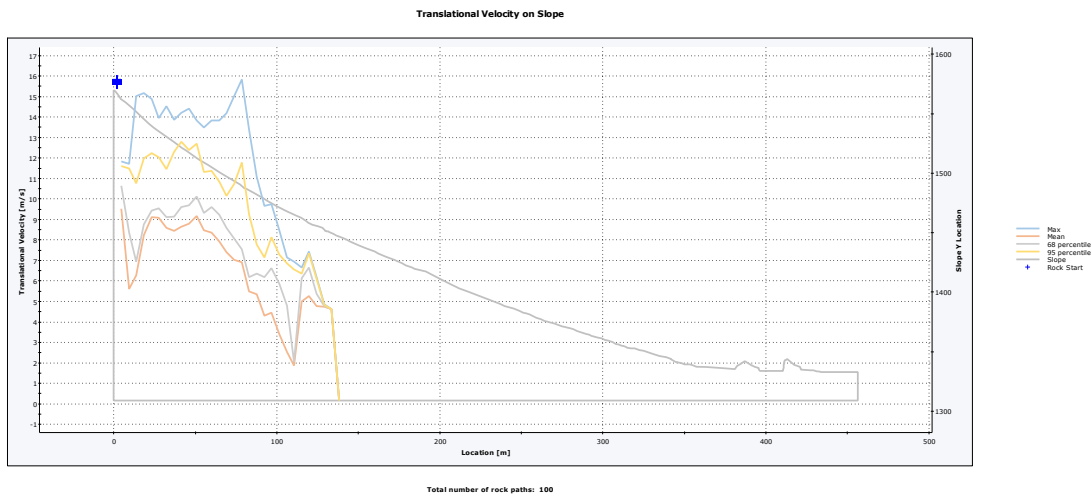


Total number of rock paths: 100



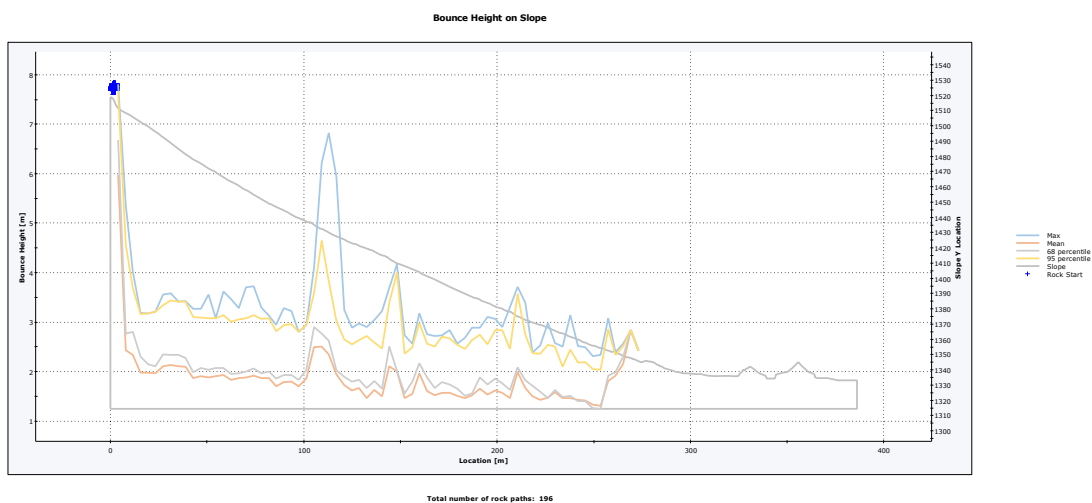
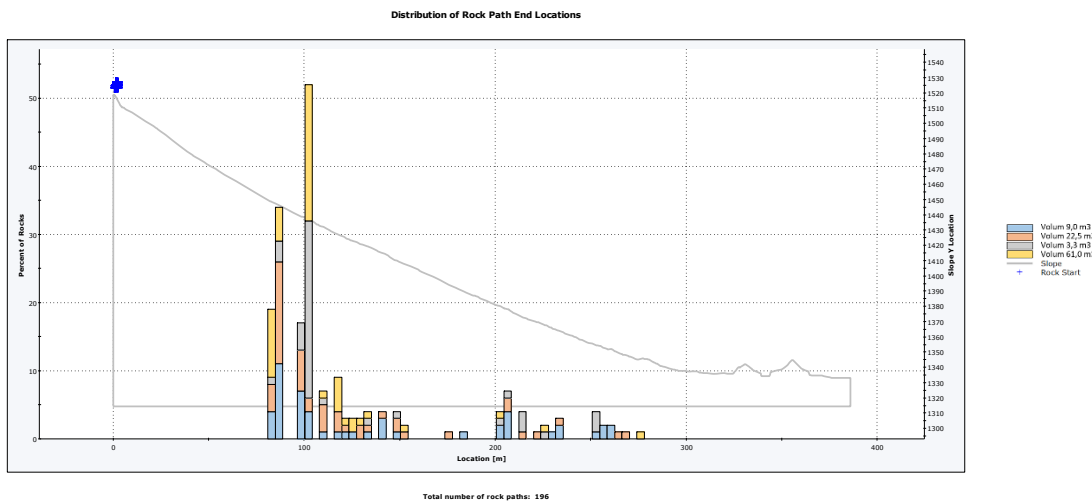
**2.5 V 61,0 m3**

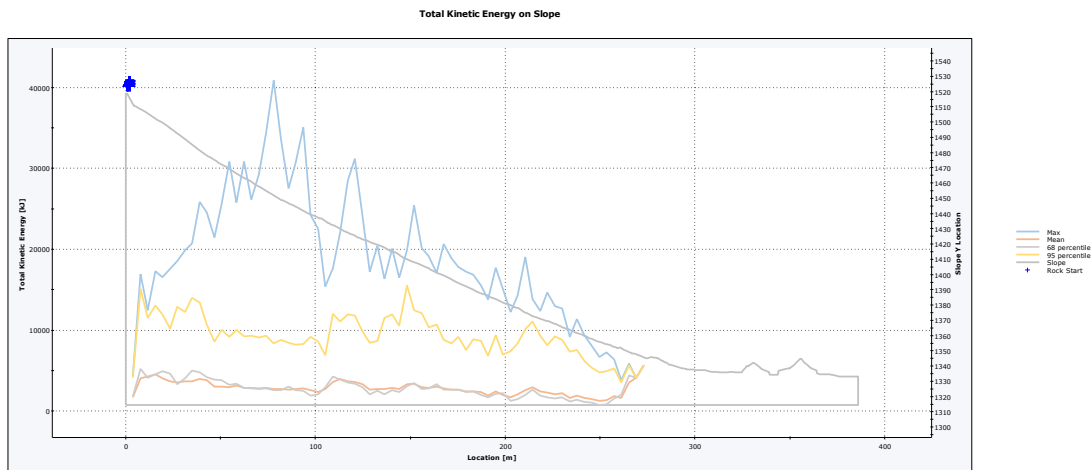




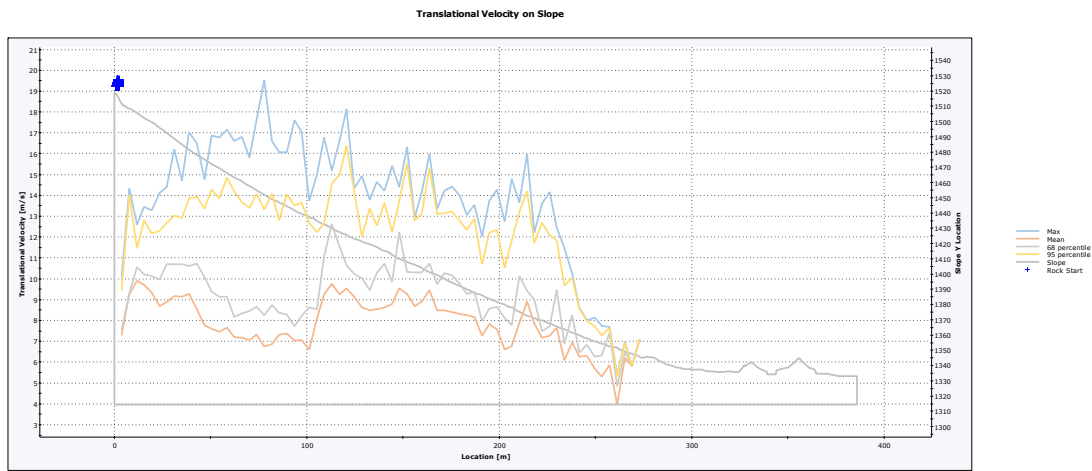
### 3 PERFIL 3

#### 3.1 Combinada



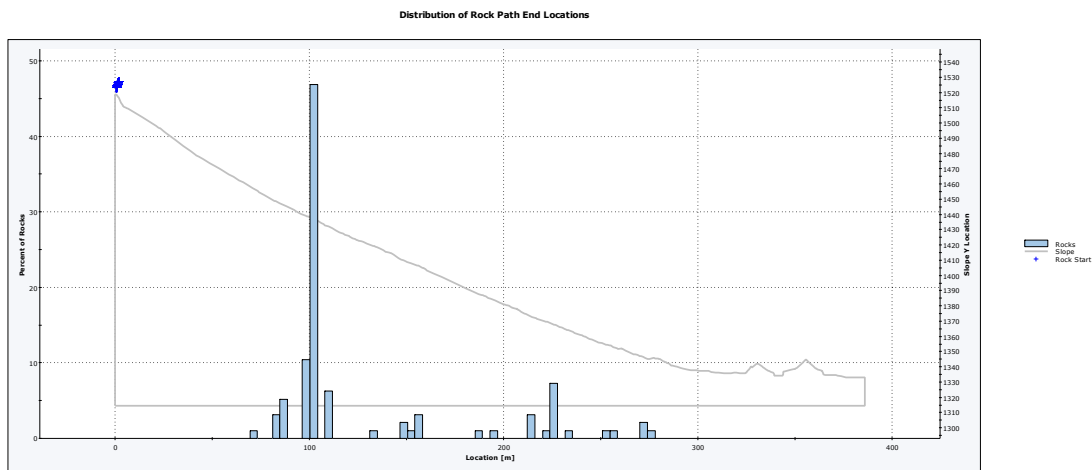


Total number of rock paths: 196

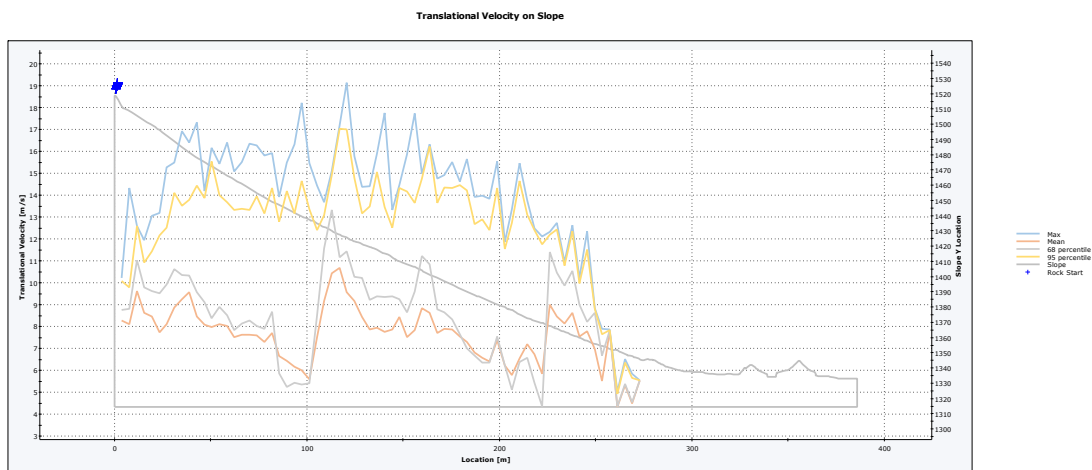
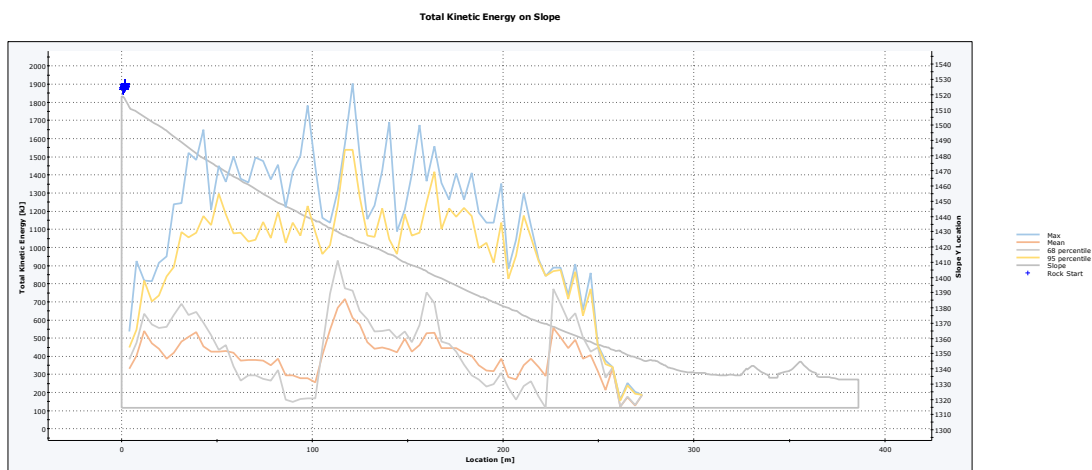
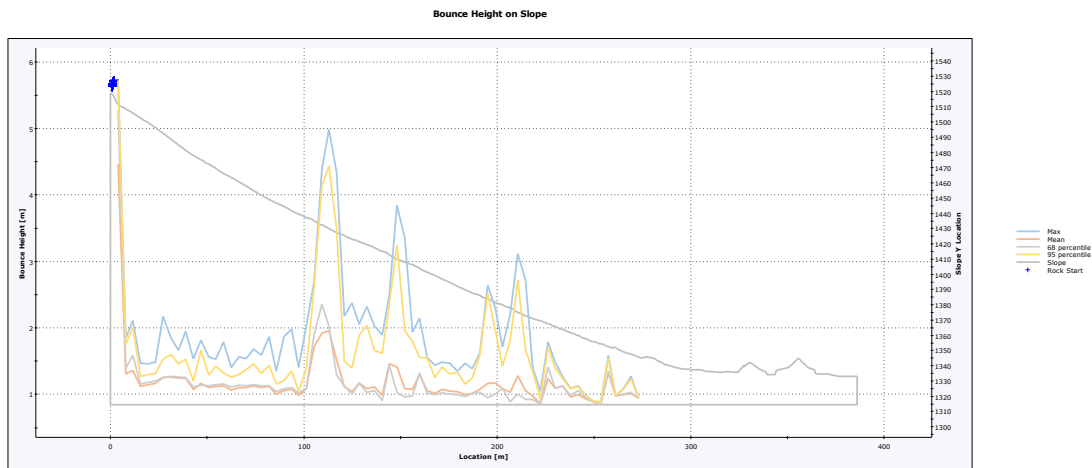


Total number of rock paths: 196

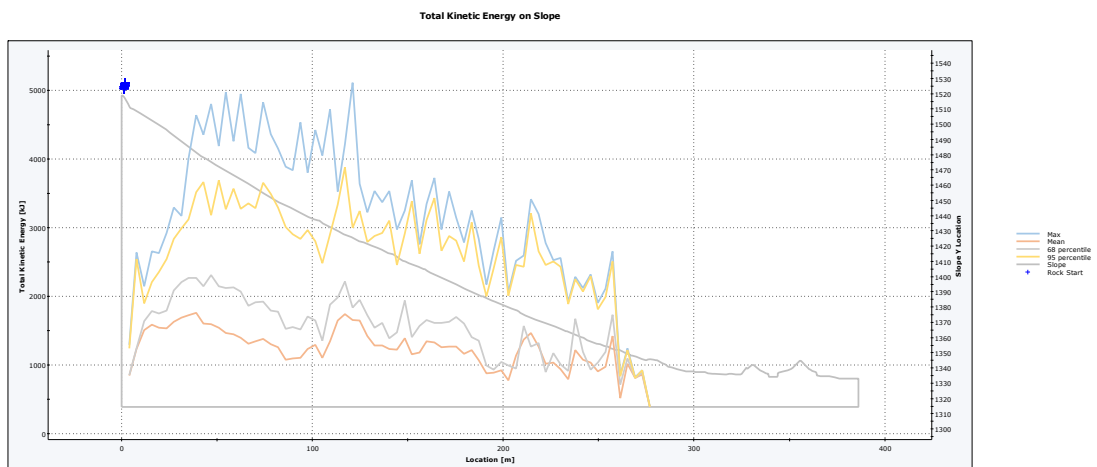
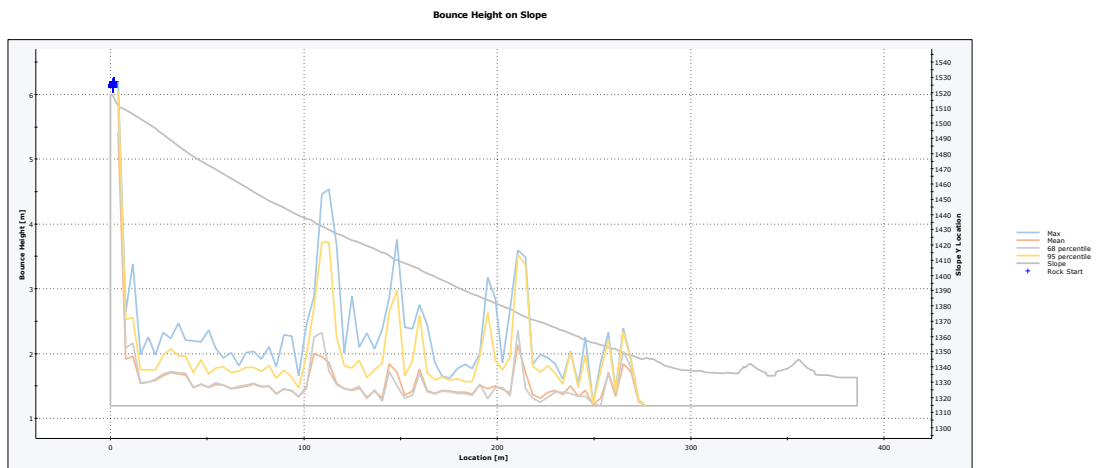
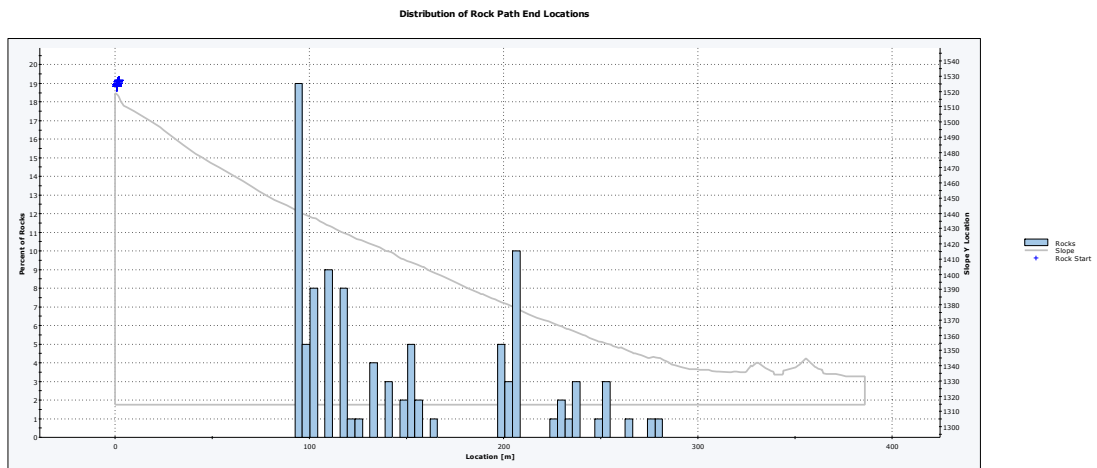
### 3.2 V 3,3 m3

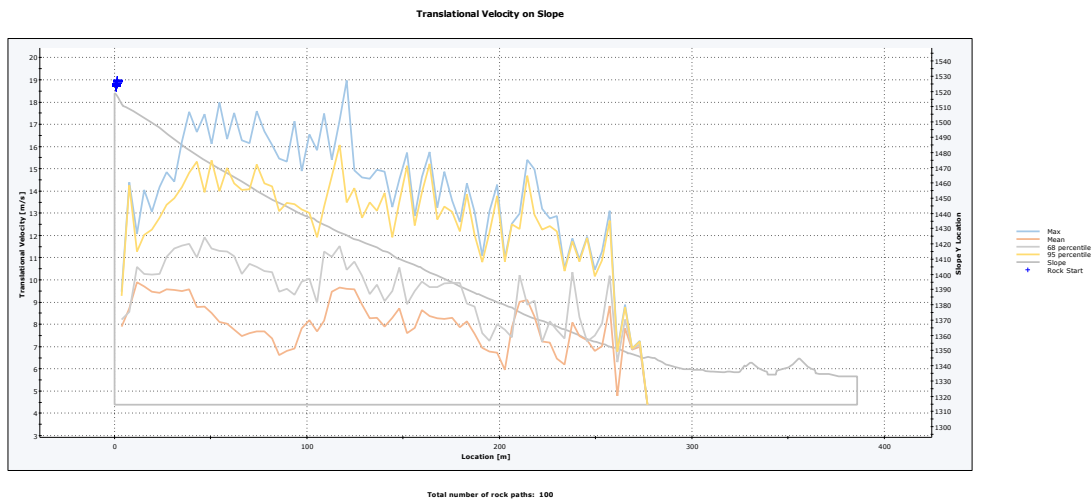


Total number of rock paths: 96

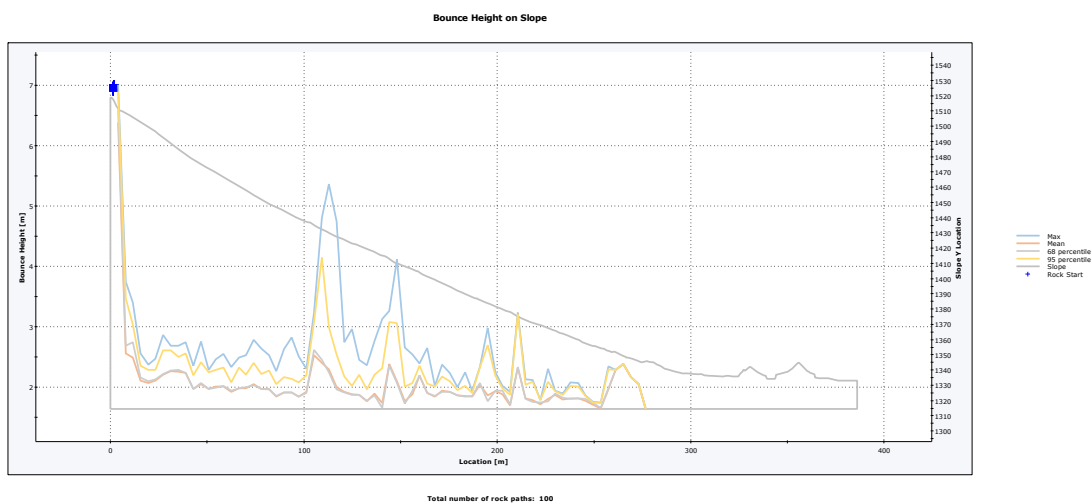
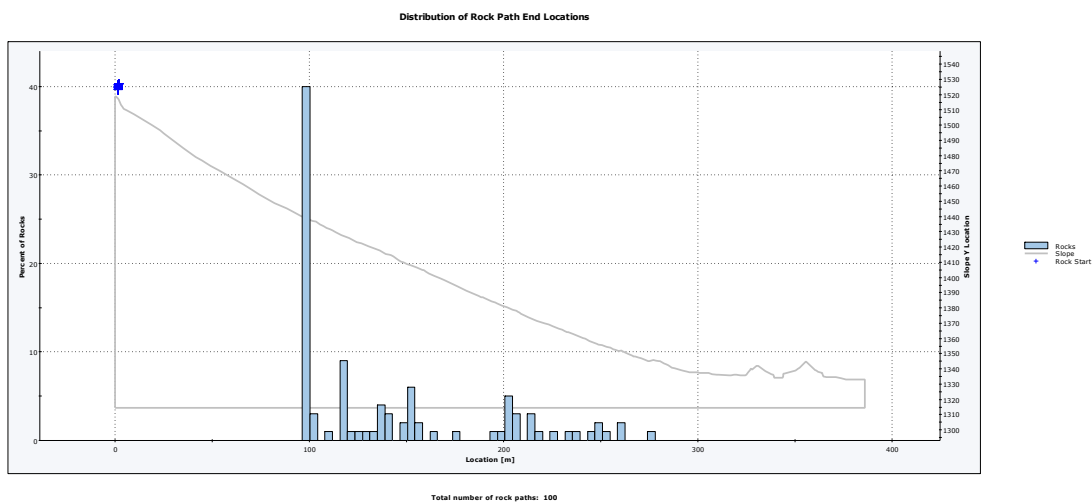


### 3.3 V 9,0 m3

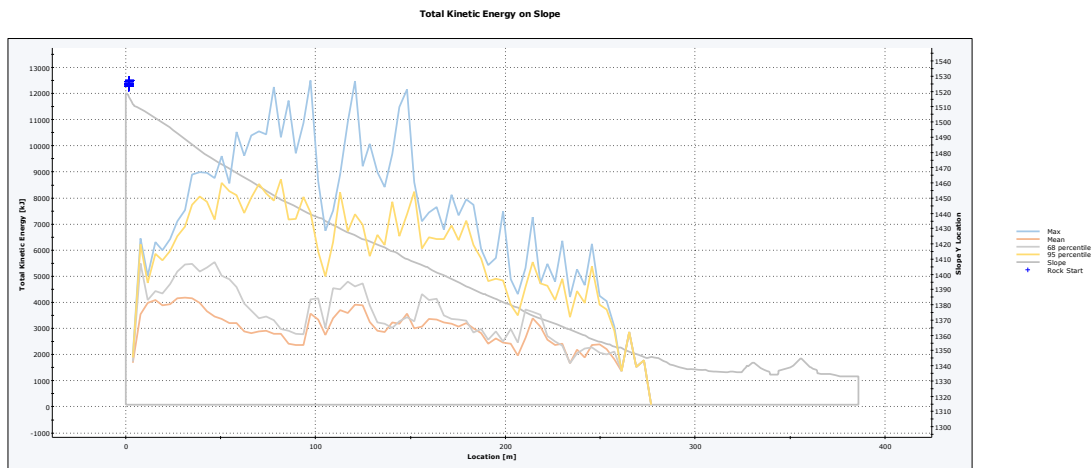




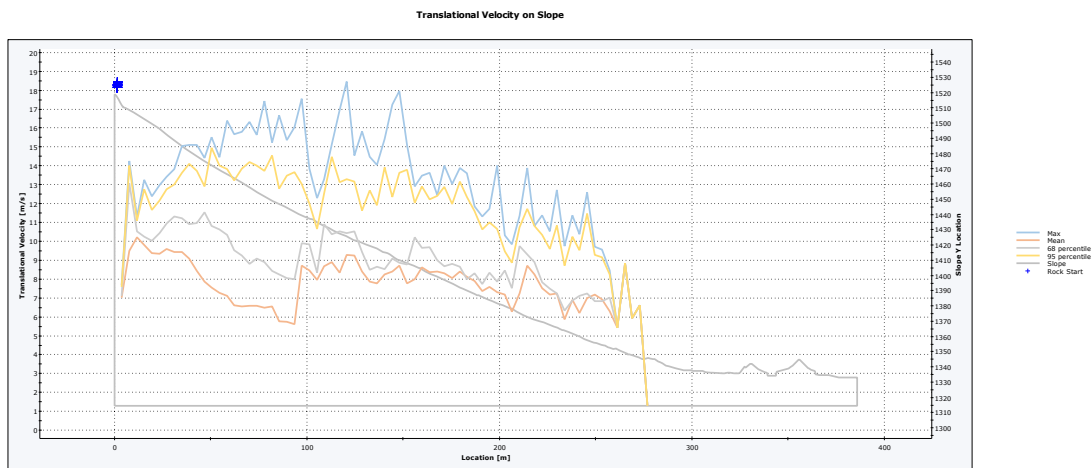
### 3.4 V 22,5 m3





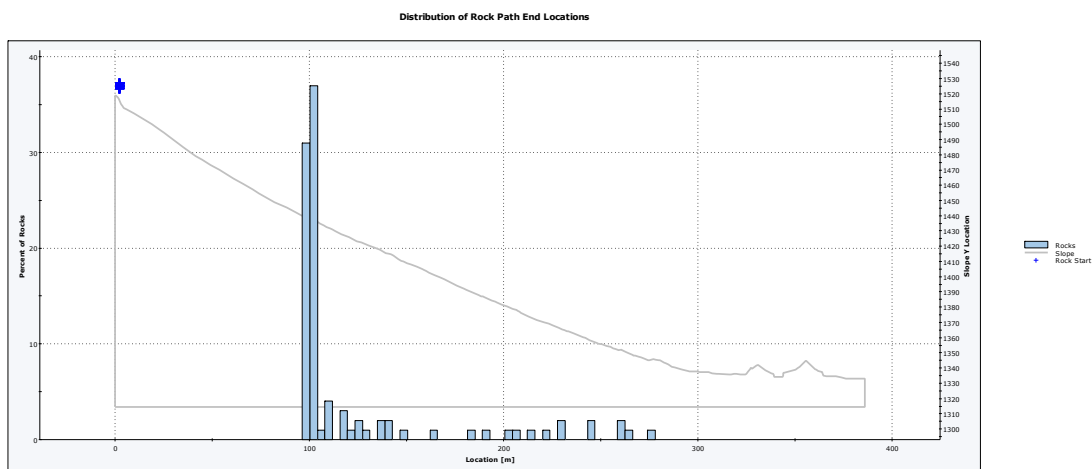


Total number of rock paths: 100

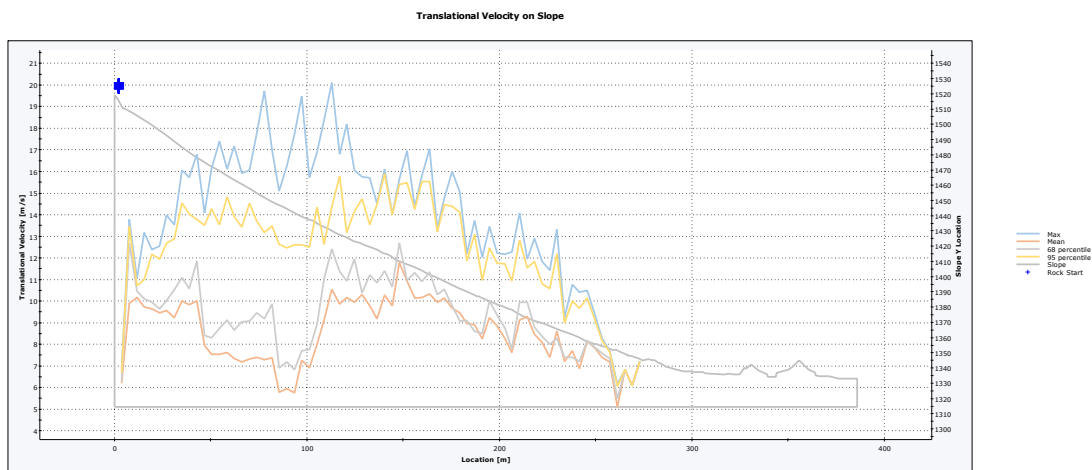
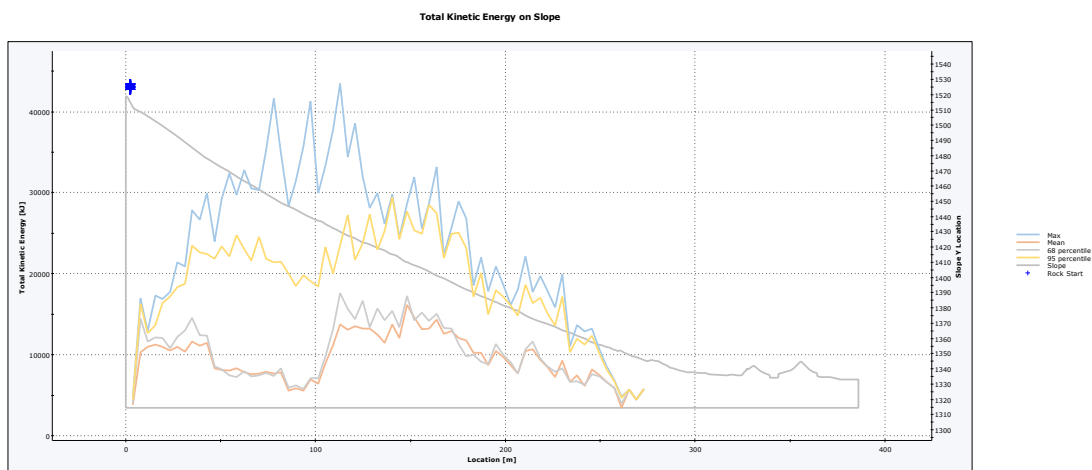
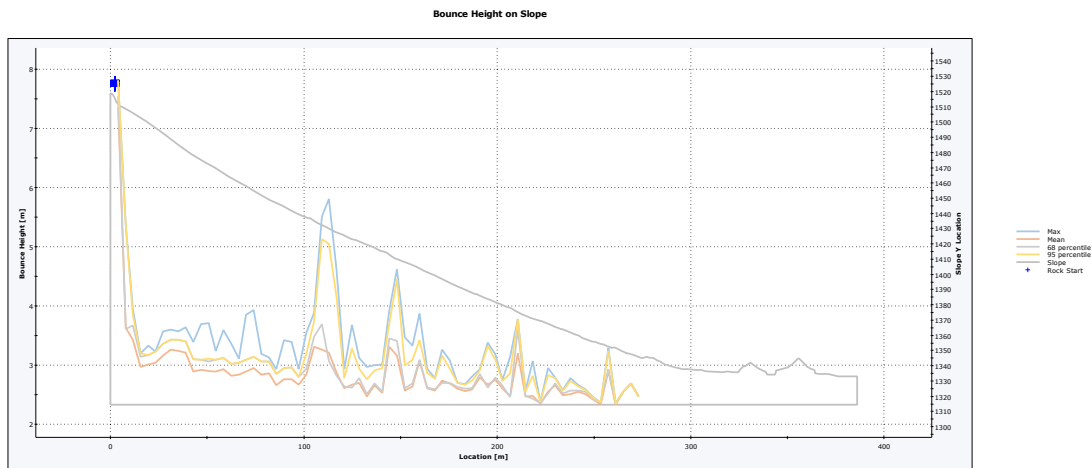


Total number of rock paths: 100

### 3.5 V 61,0 m3



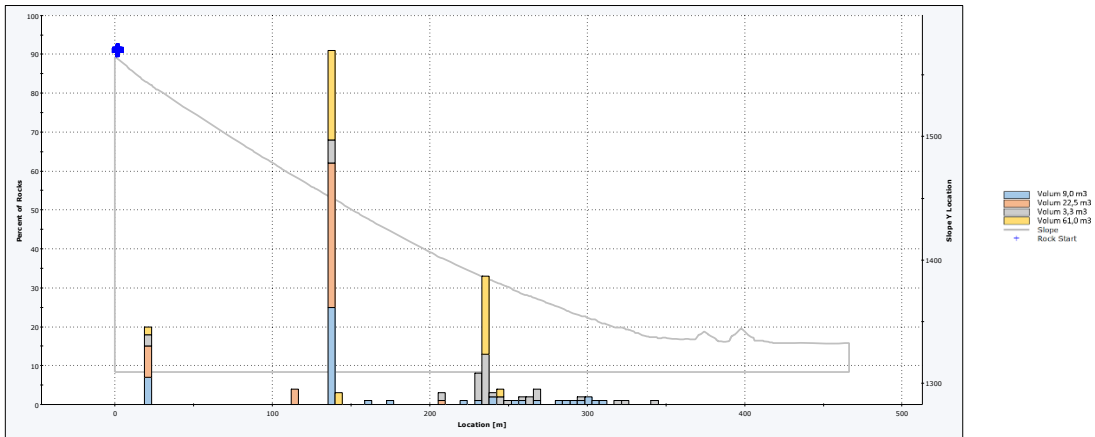
Total number of rock paths: 100



## 4 PERFIL 4

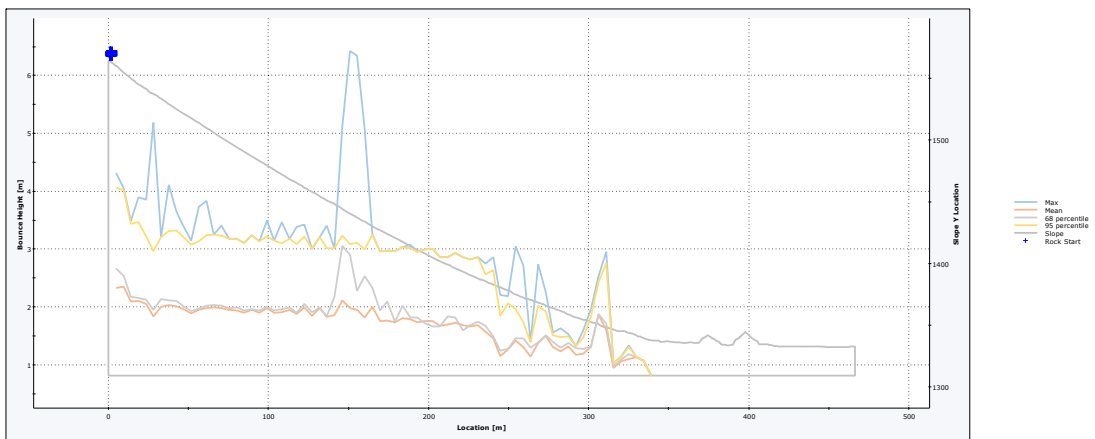
### 4.1 Combinada

Distribution of Rock Path End Locations



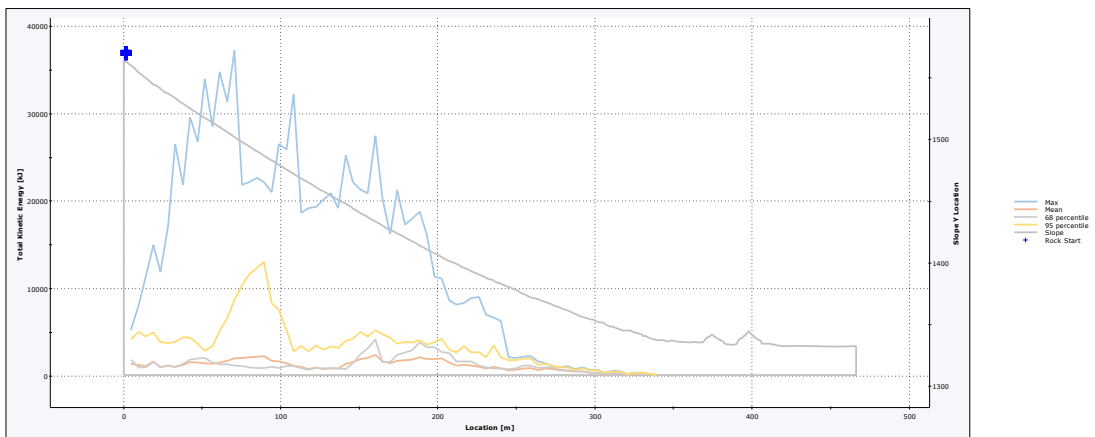
Total number of rock paths: 194

Bounce Height on Slope

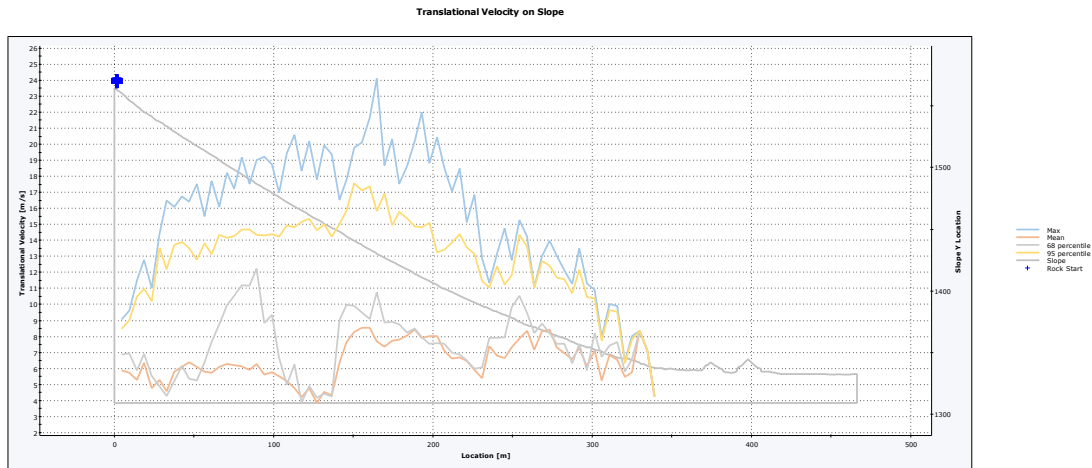


Total number of rock paths: 194

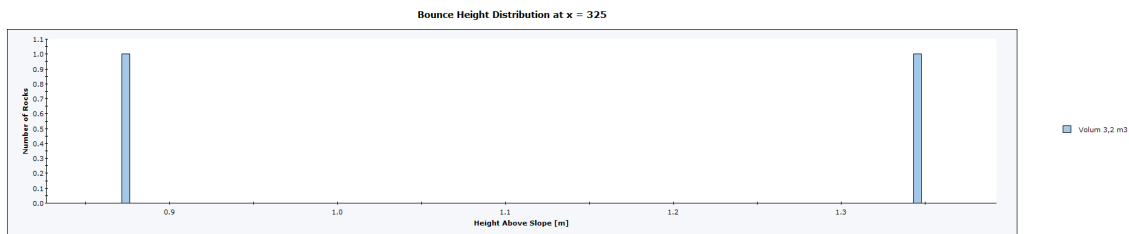
Total Kinetic Energy on Slope



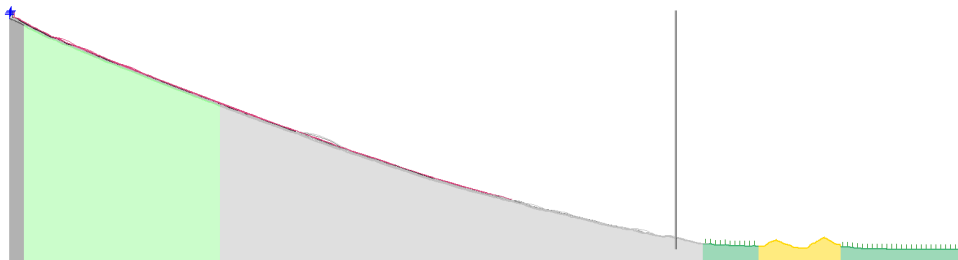
Total number of rock paths: 194



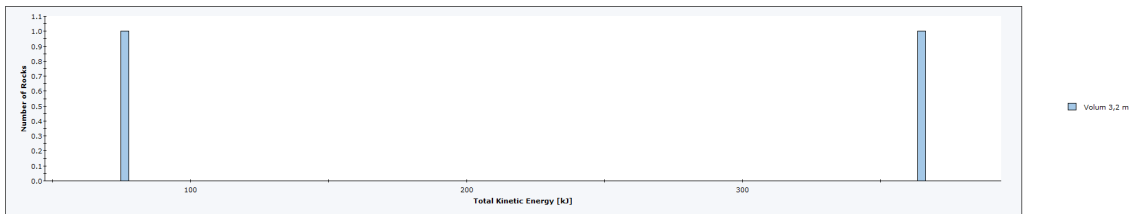
Total number of rock paths: 194



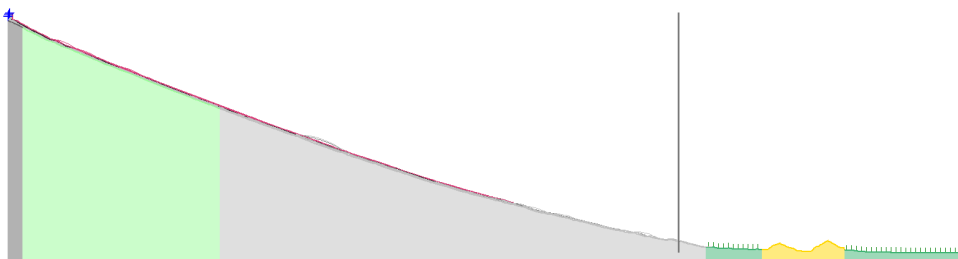
Total number of rock paths: 194



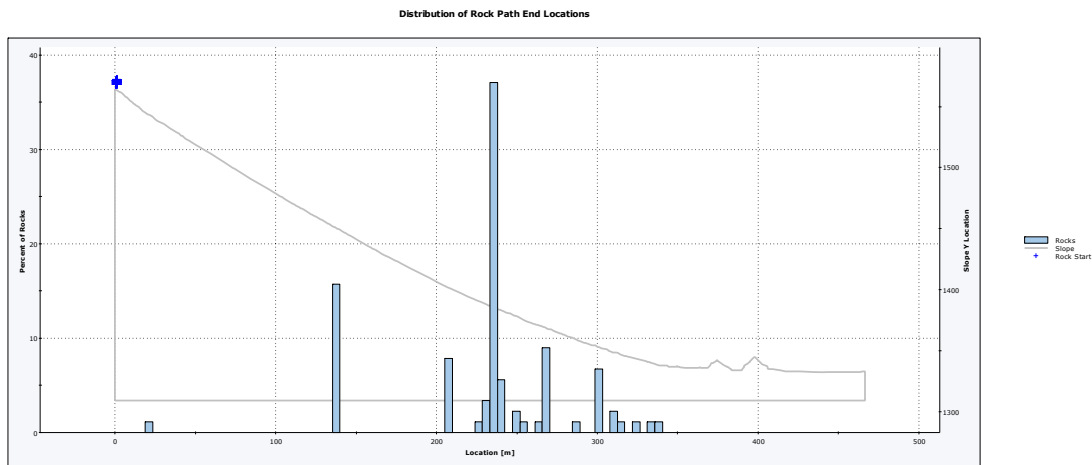
**Total Kinetic Energy Distribution at x = 325**



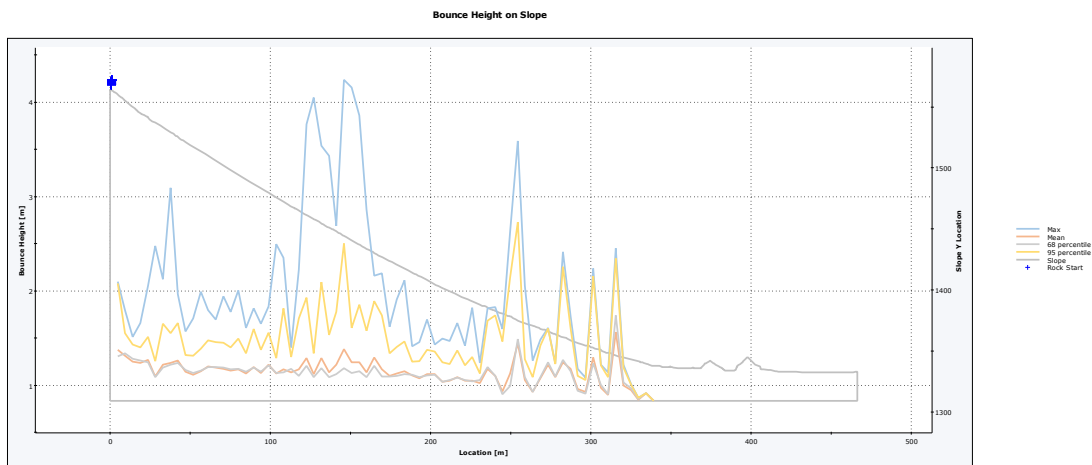
Total number of rock paths: 194



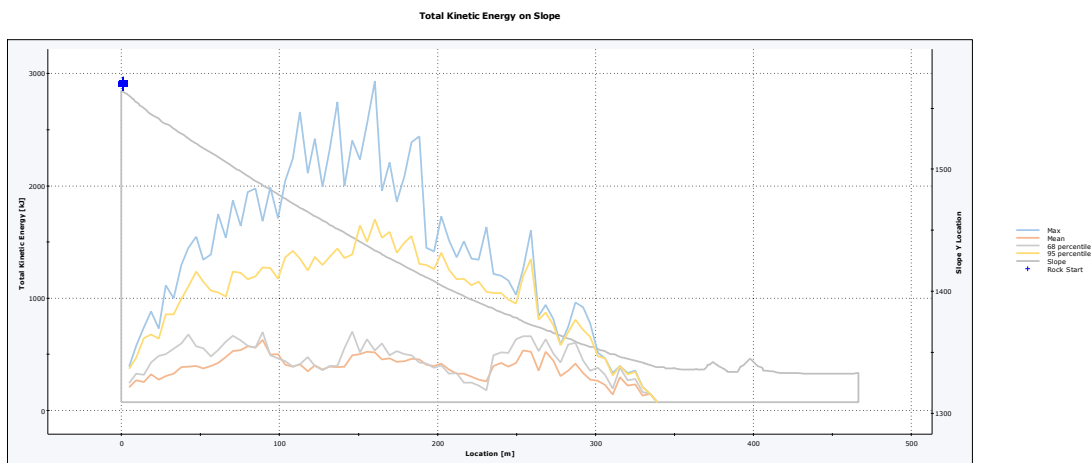
## 4.2 V 3,3 m3



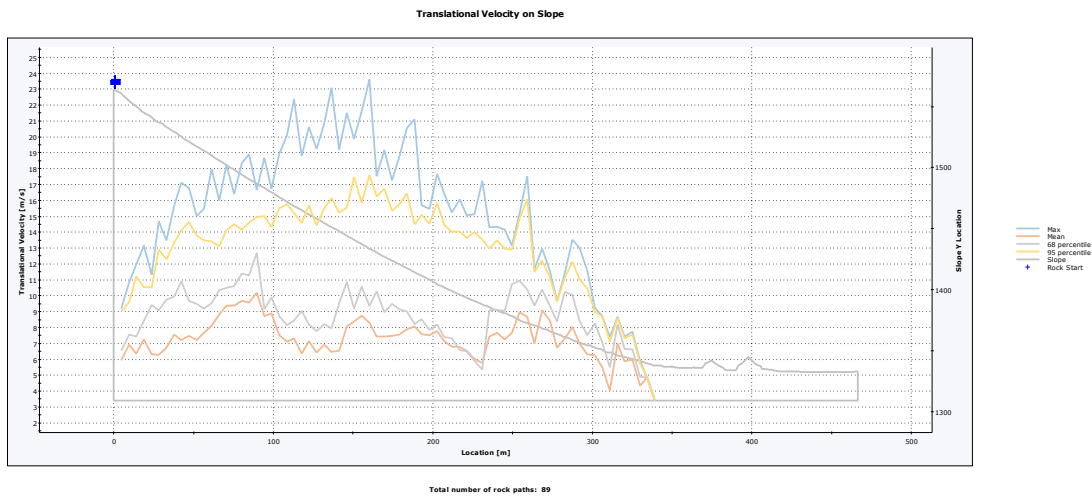
Total number of rock paths: 89



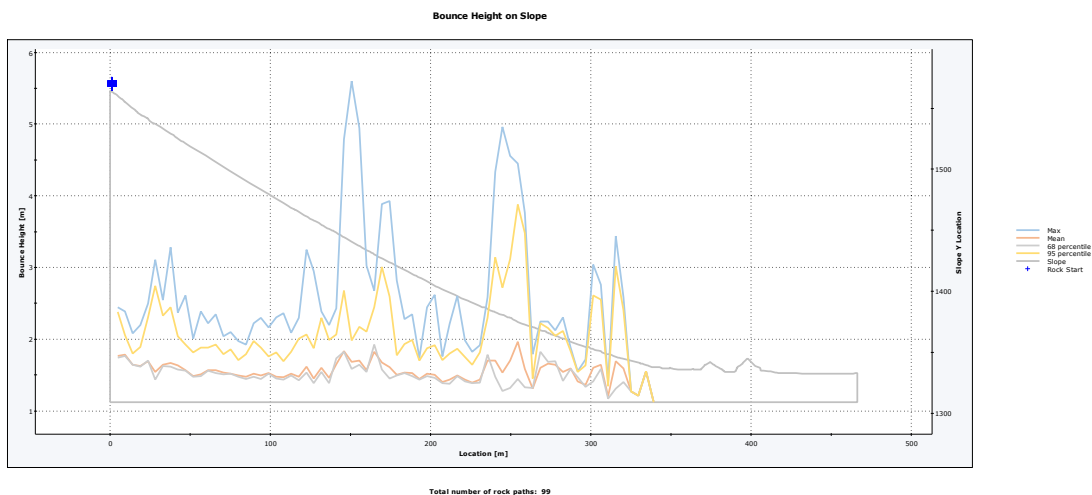
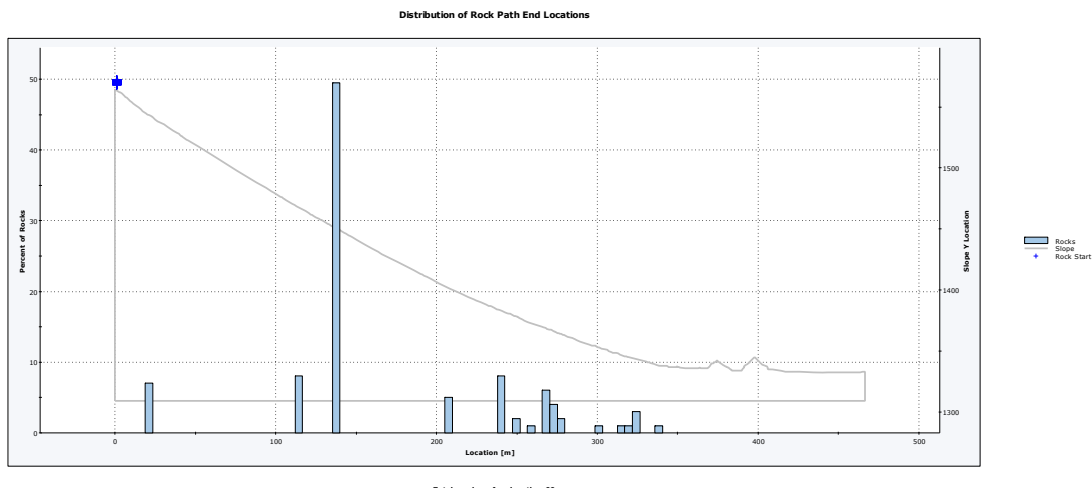
Total number of rock paths: 89

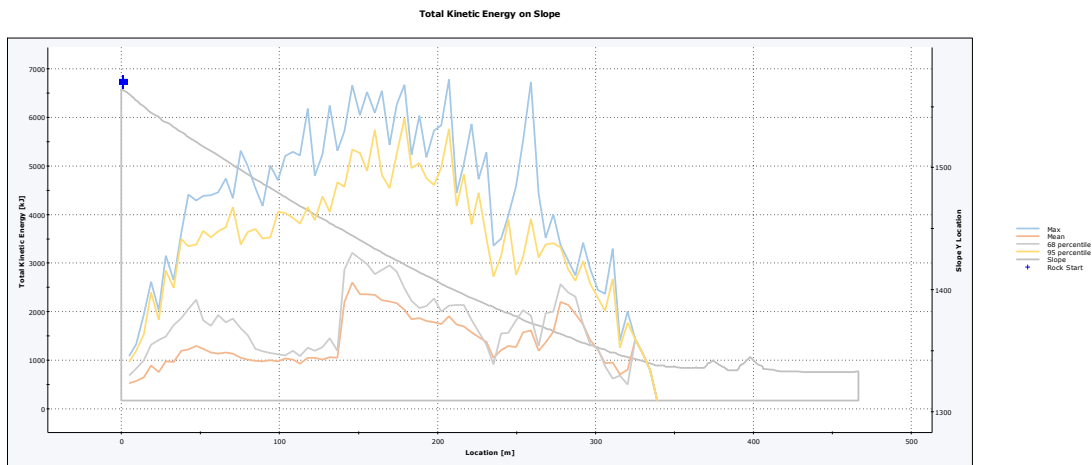


Total number of rock paths: 89

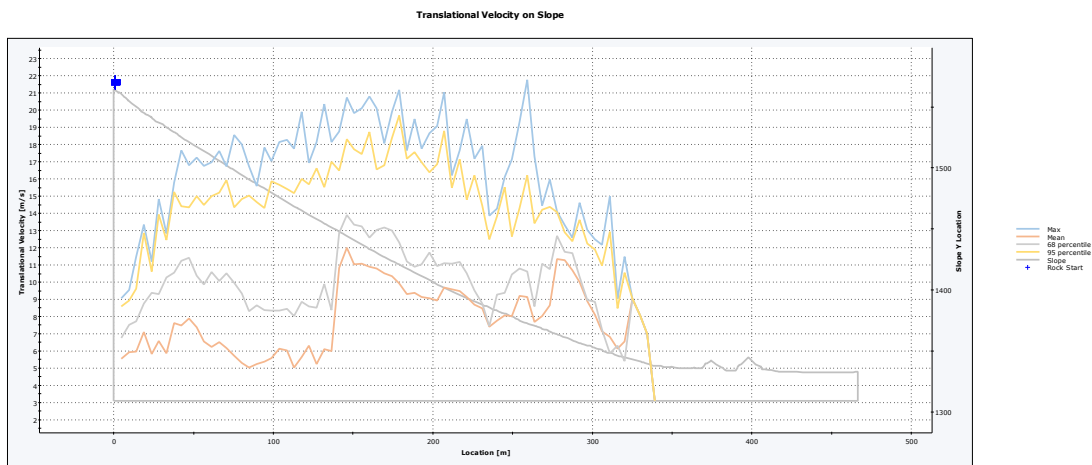


### 4.3 V 9,0 m3



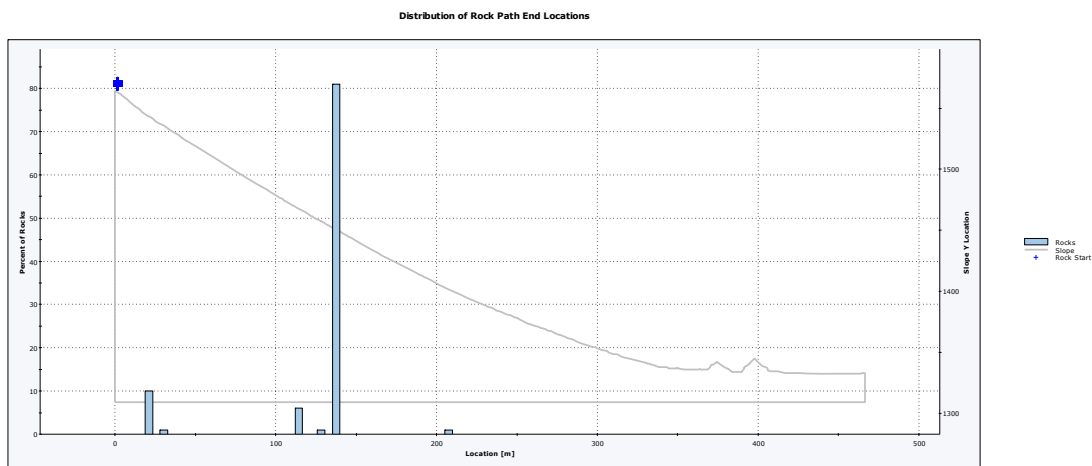


Total number of rock paths: 99

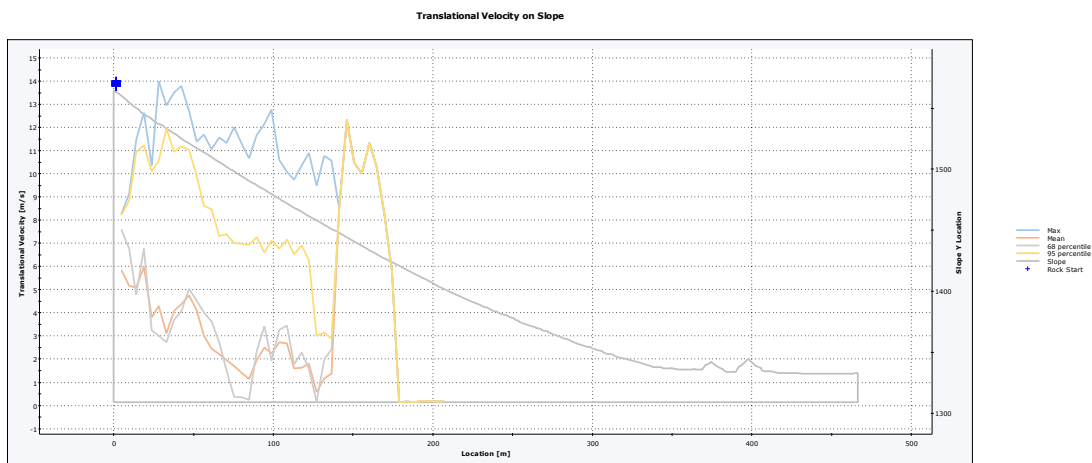
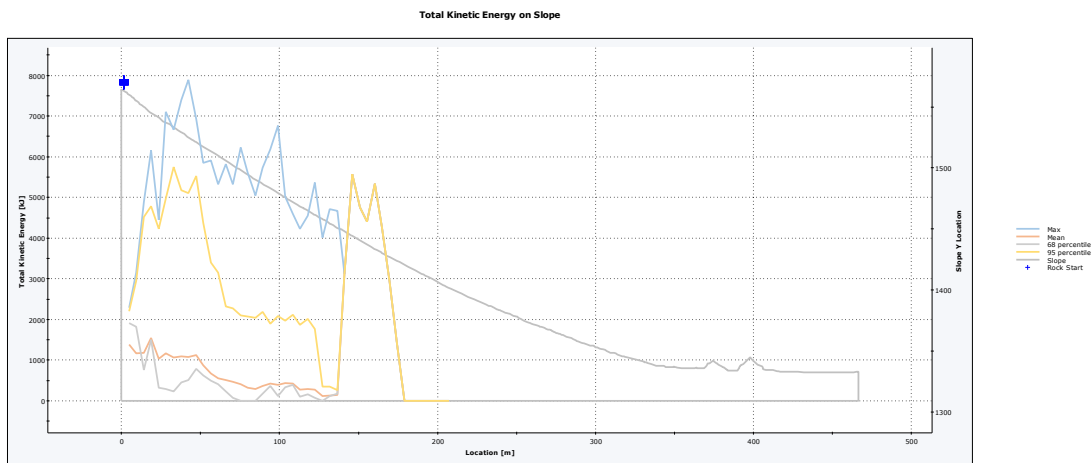
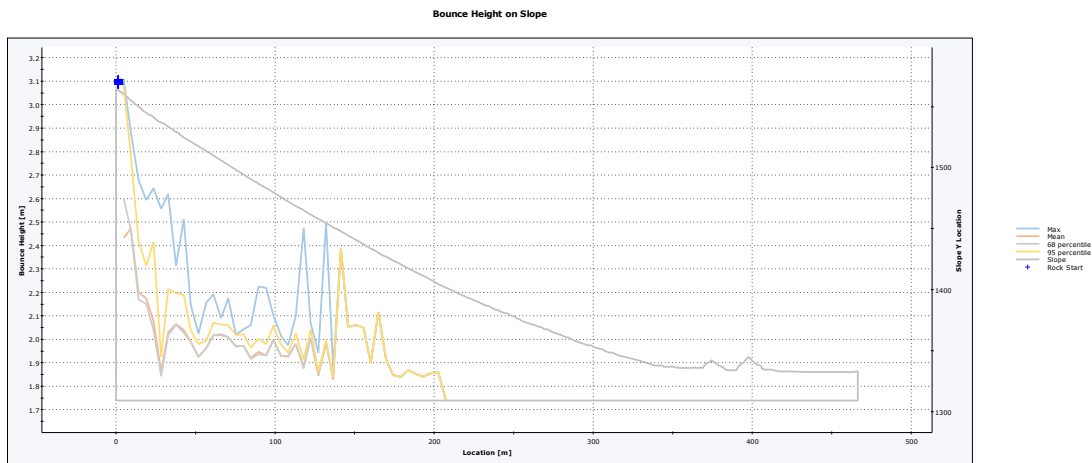


Total number of rock paths: 99

#### 4.4 V 22,5 m3

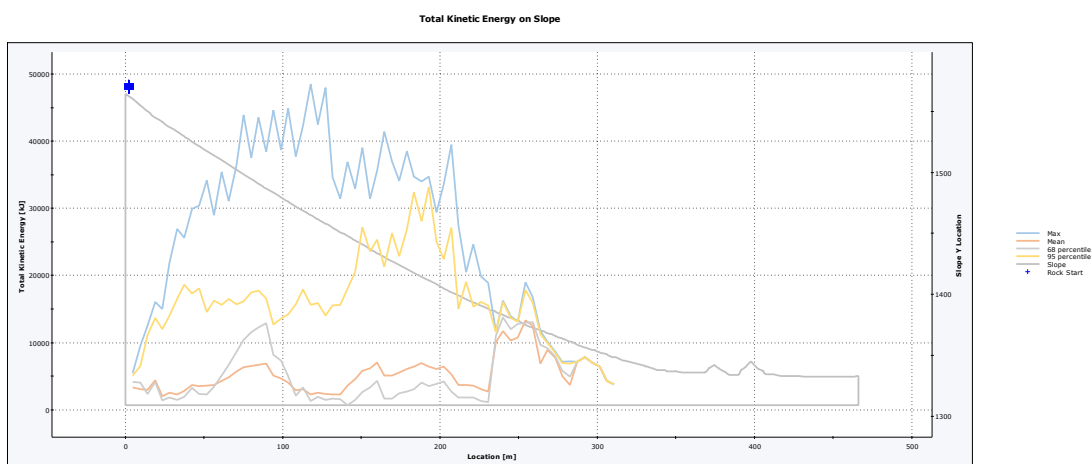
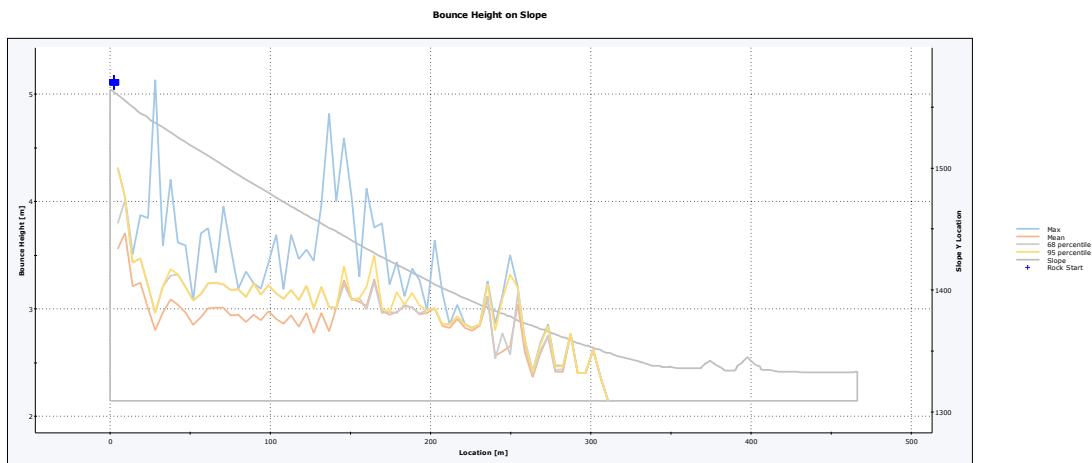
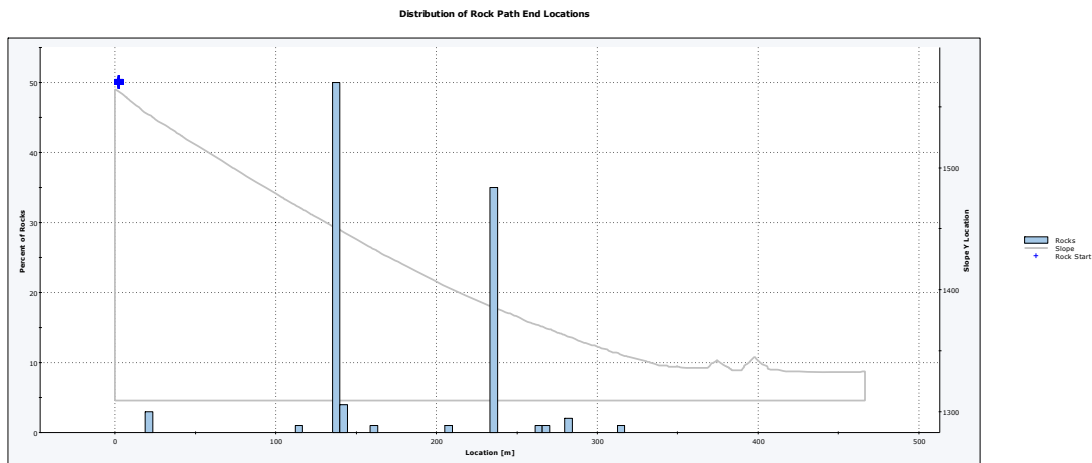


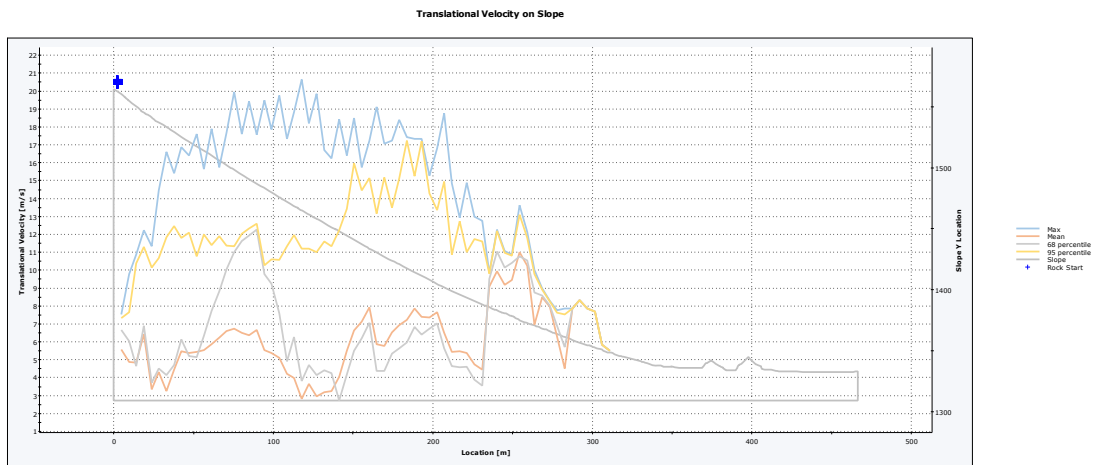
Total number of rock paths: 100



#### 4.5 V 61,0 m3



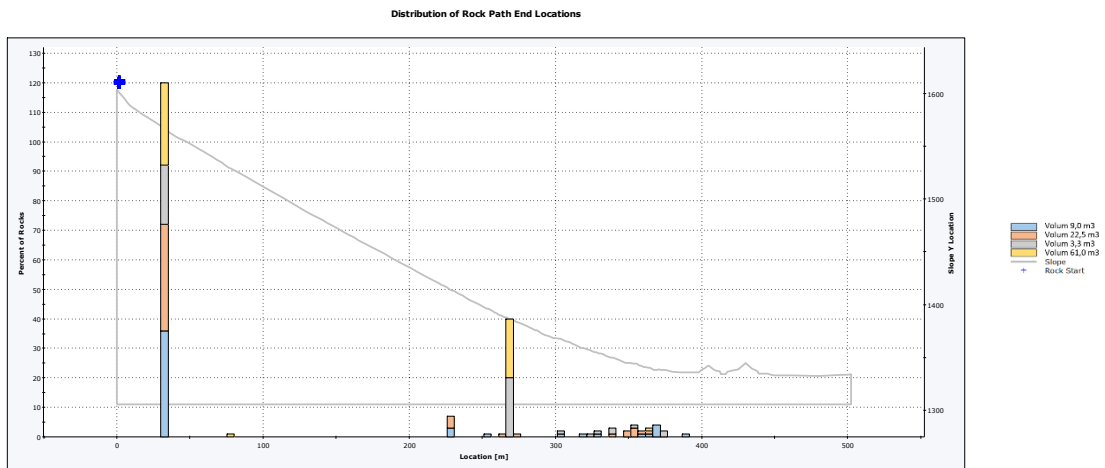




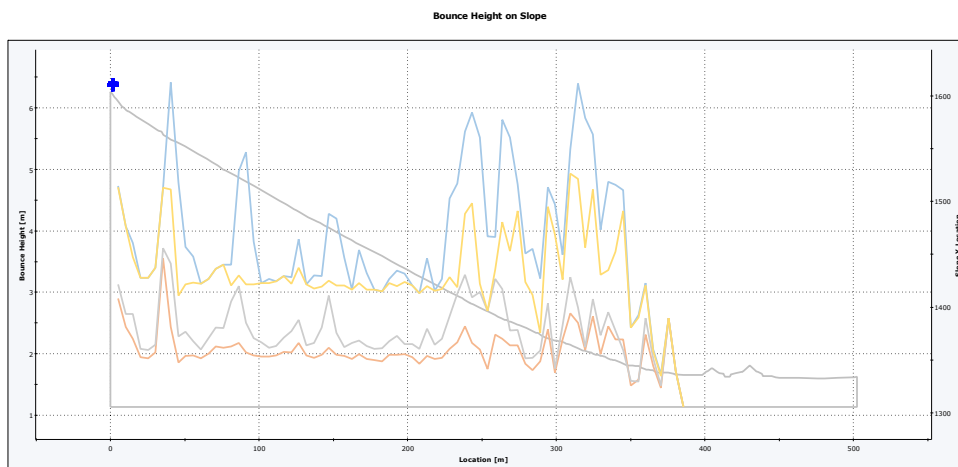
Total number of rock paths: 100

## 5 PERFIL 5

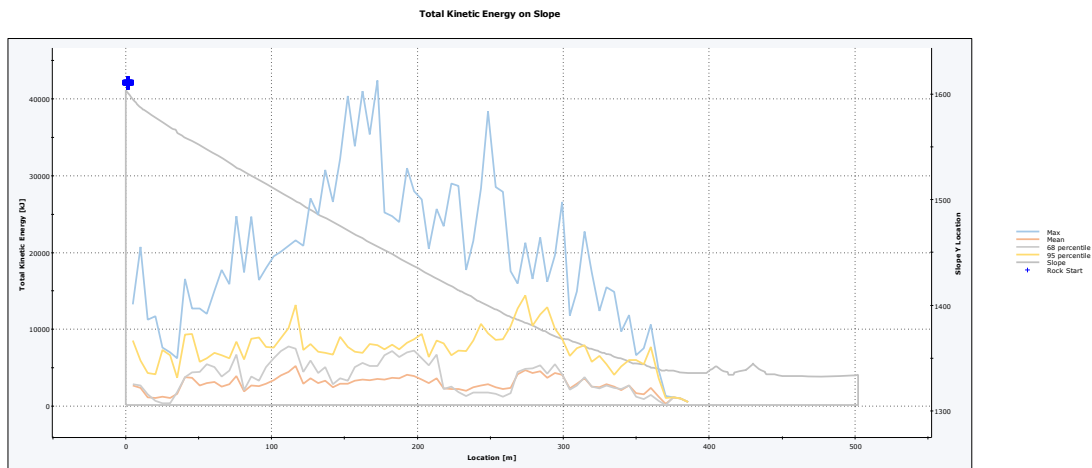
### 5.1 Combinat



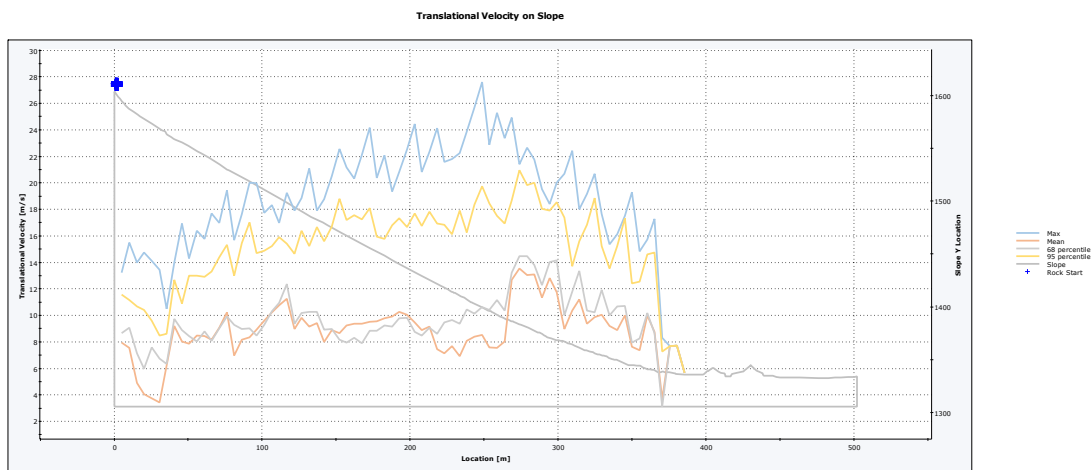
Total number of rock paths: 198



Total number of rock paths: 198

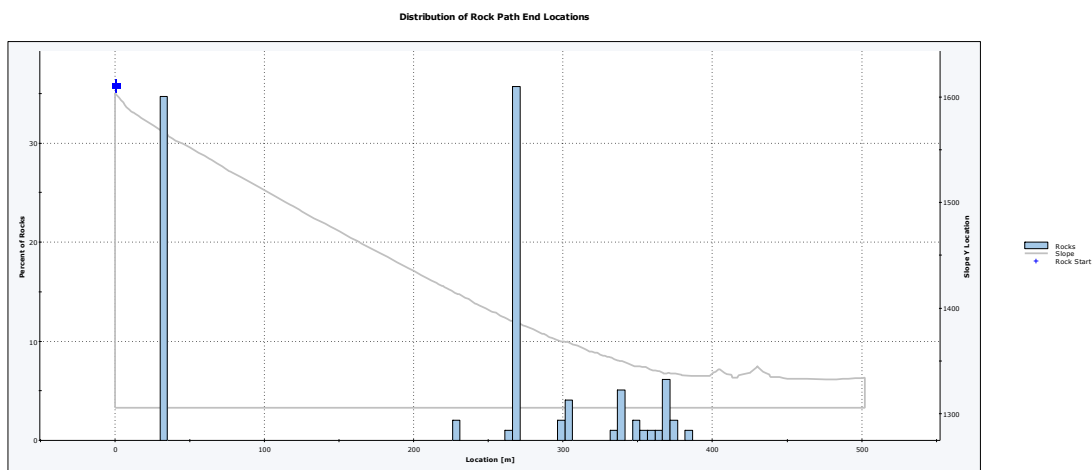


Total number of rock paths: 198

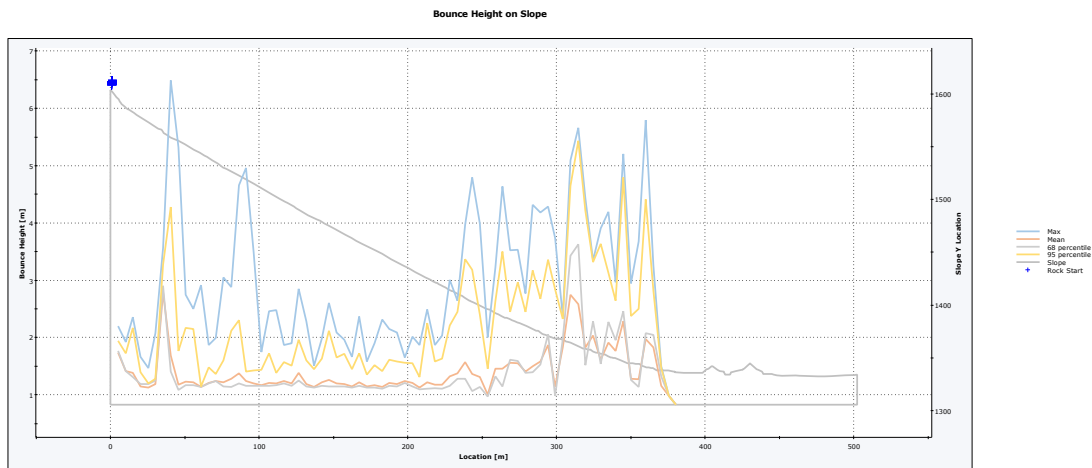


Total number of rock paths: 198

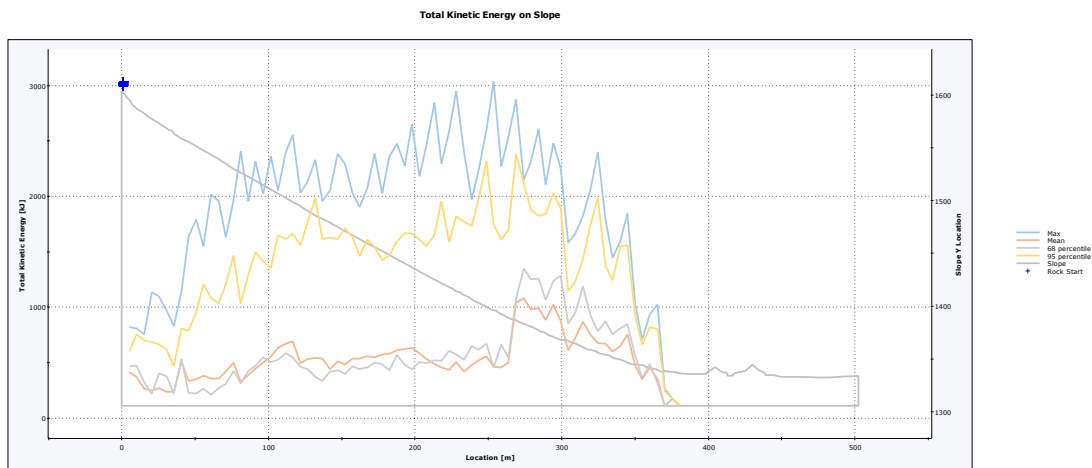
## 5.2 V 3,3 m3



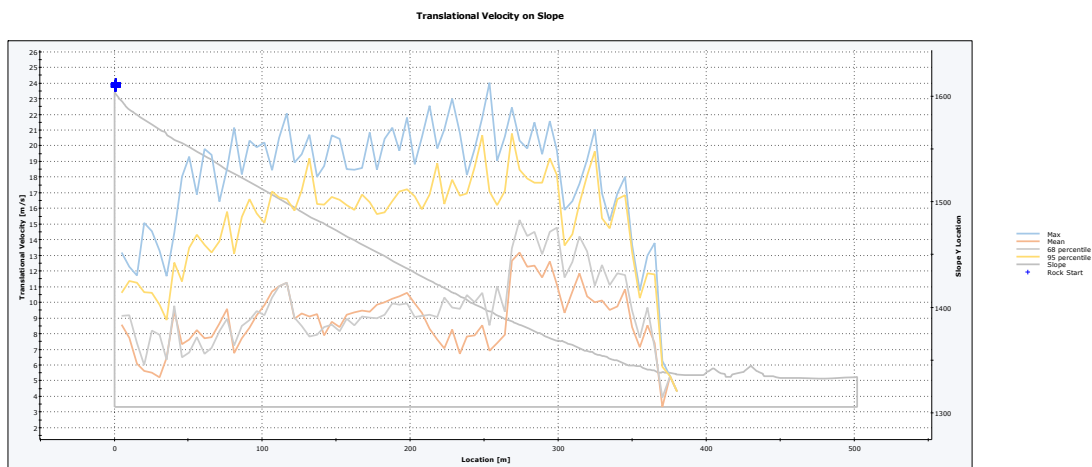
Total number of rock paths: 98



Total number of rock paths: 98

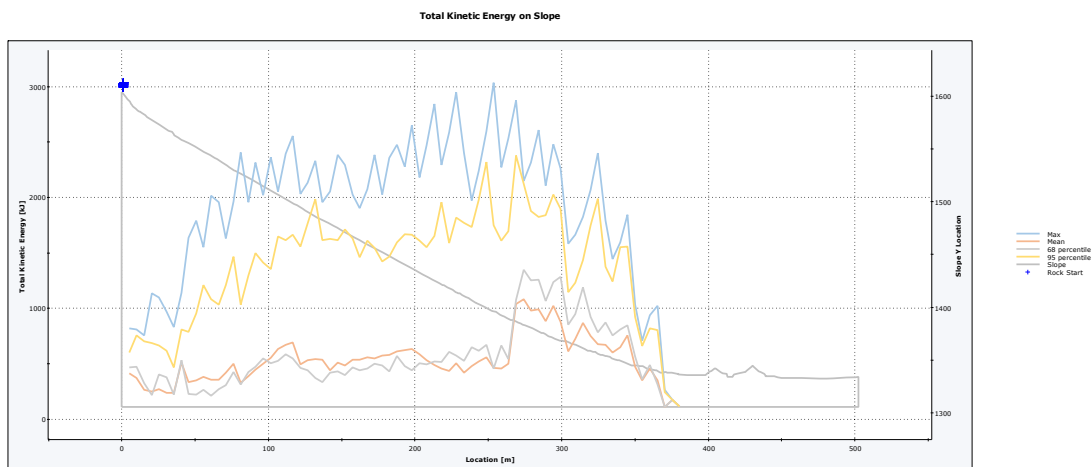
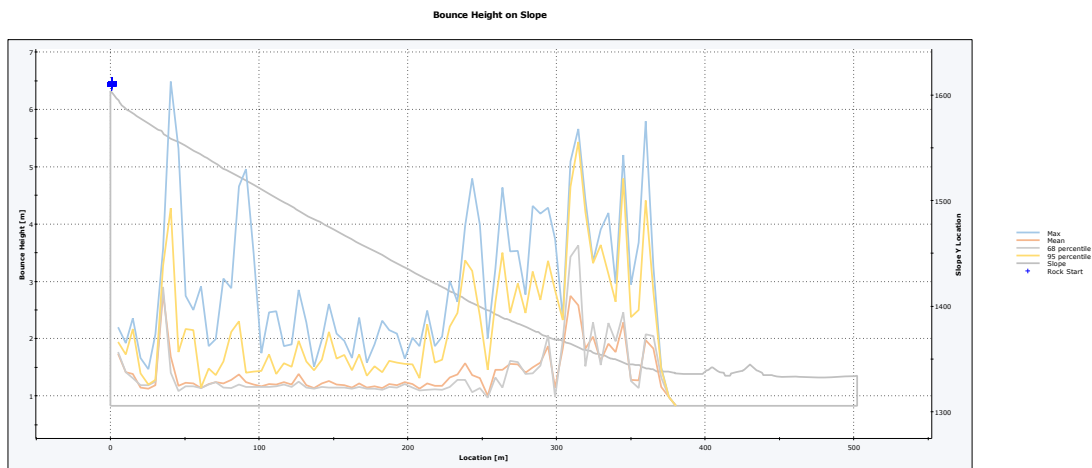
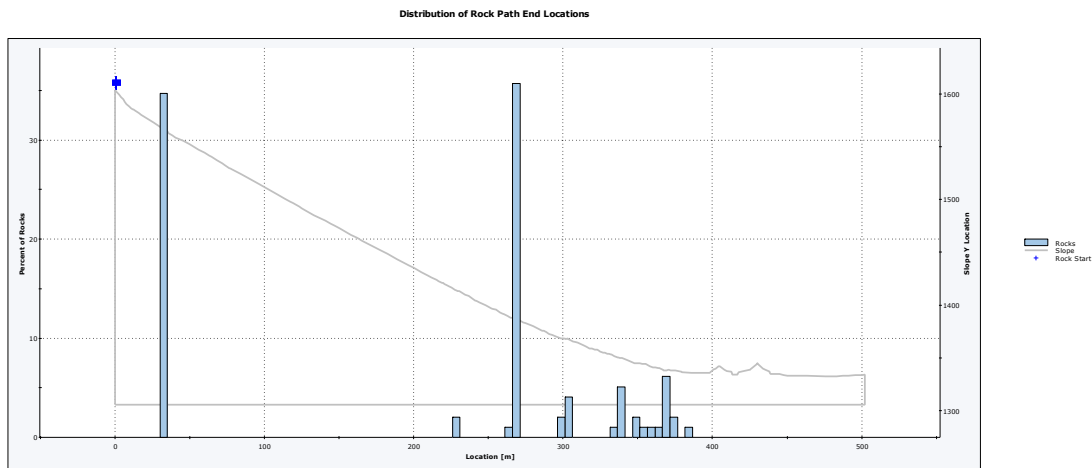


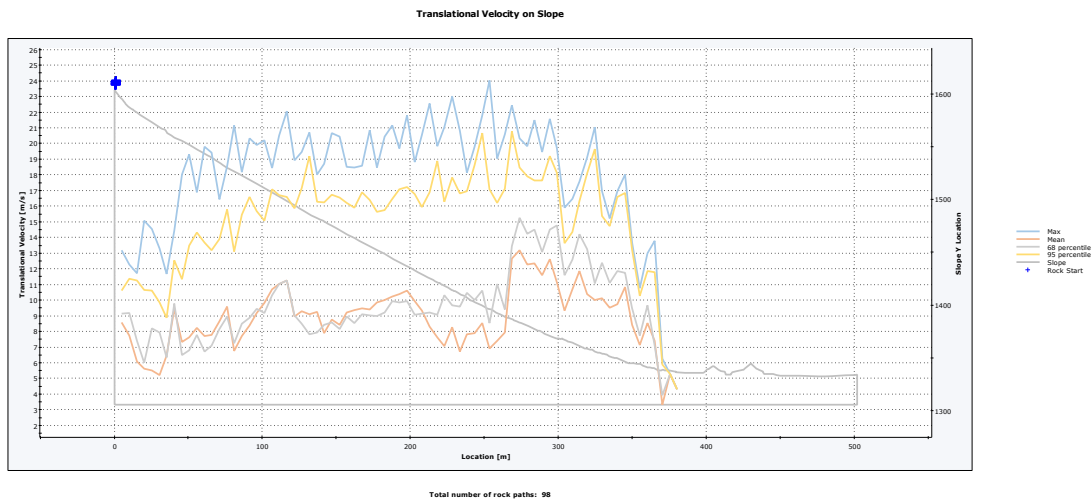
Total number of rock paths: 98



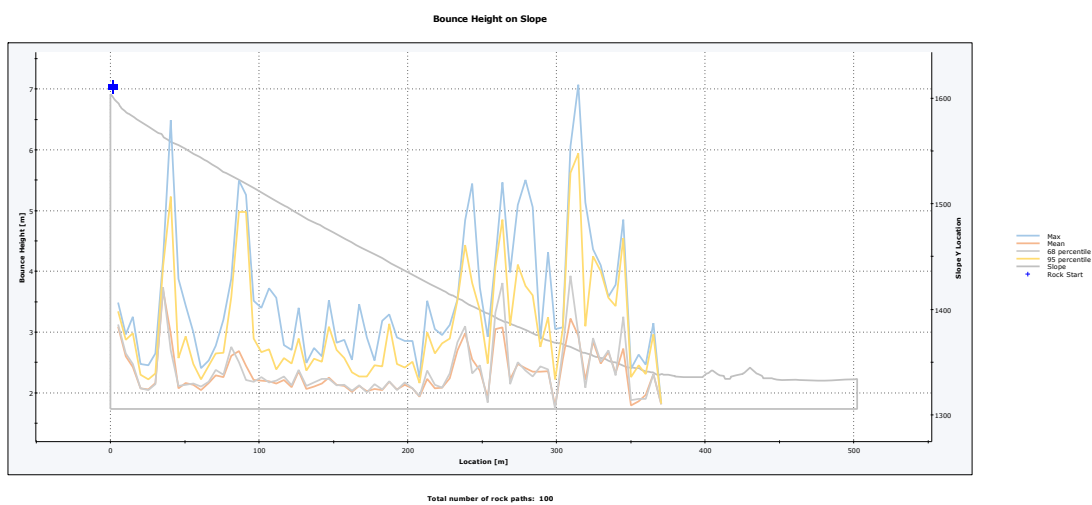
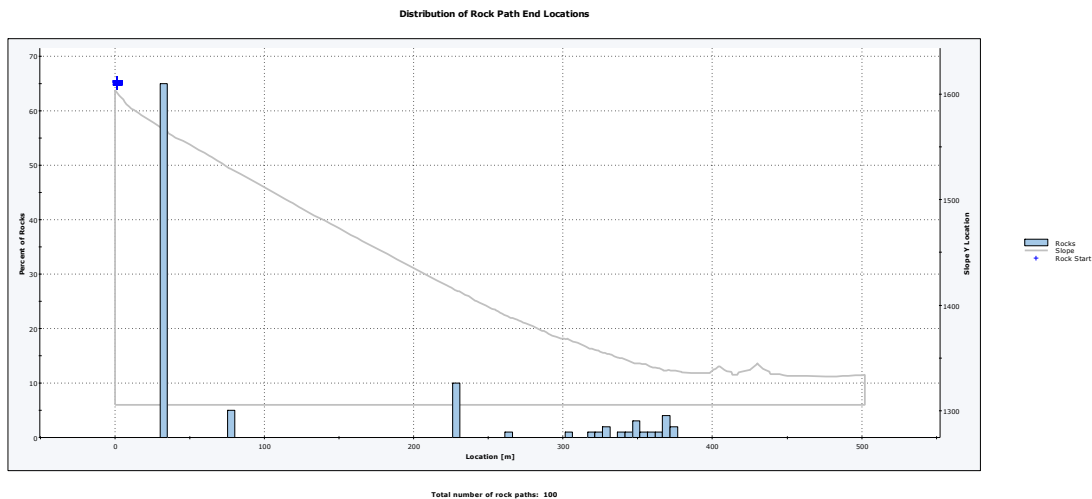
Total number of rock paths: 98

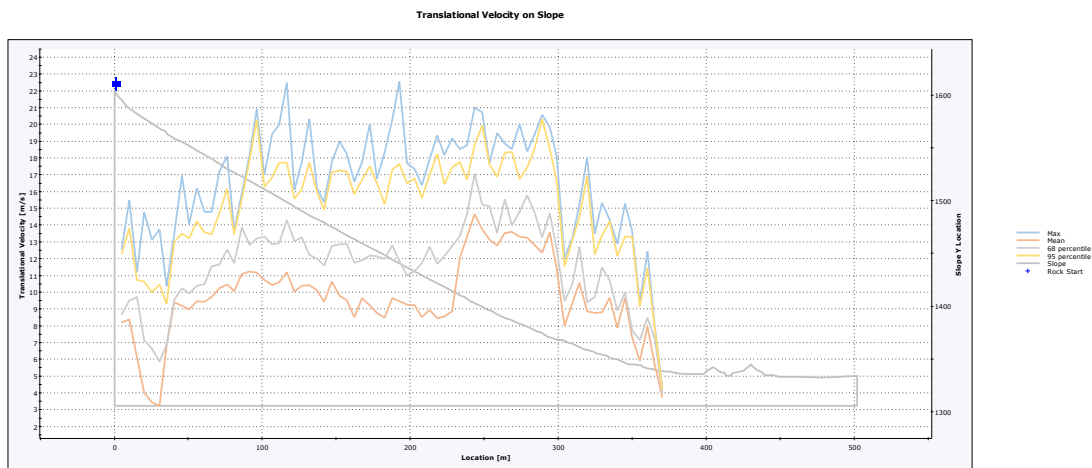
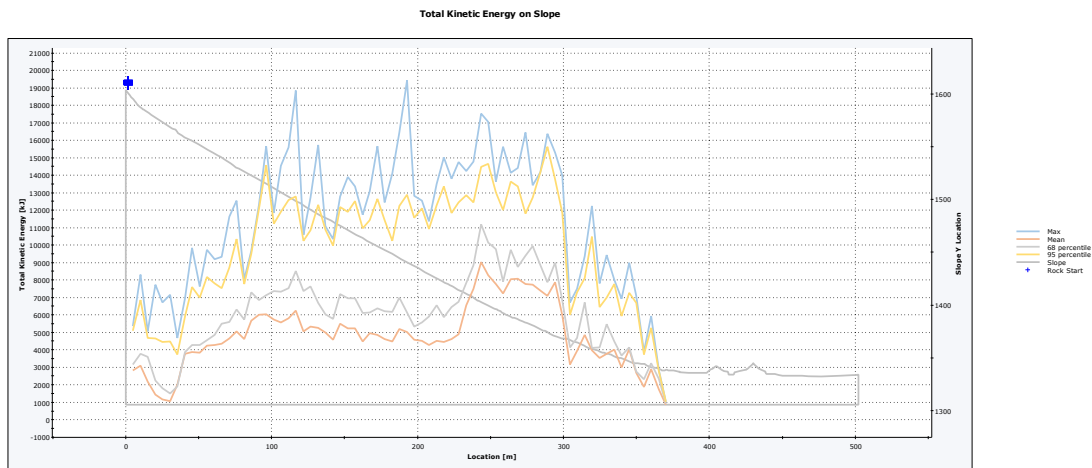
### 5.3 V 9,0 m3



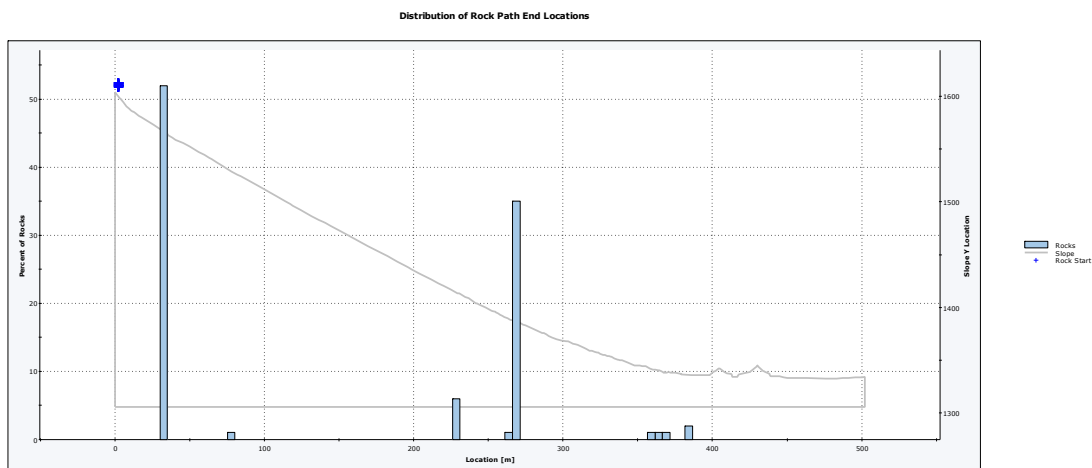


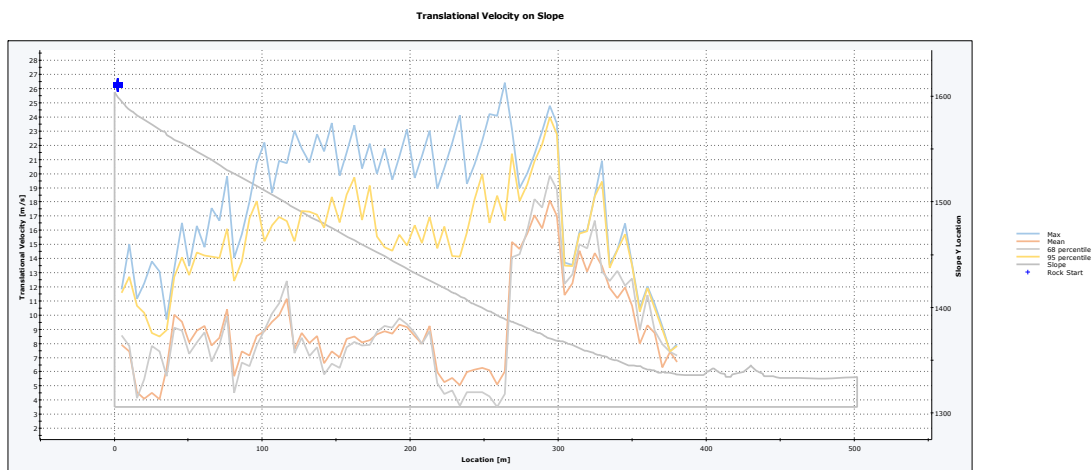
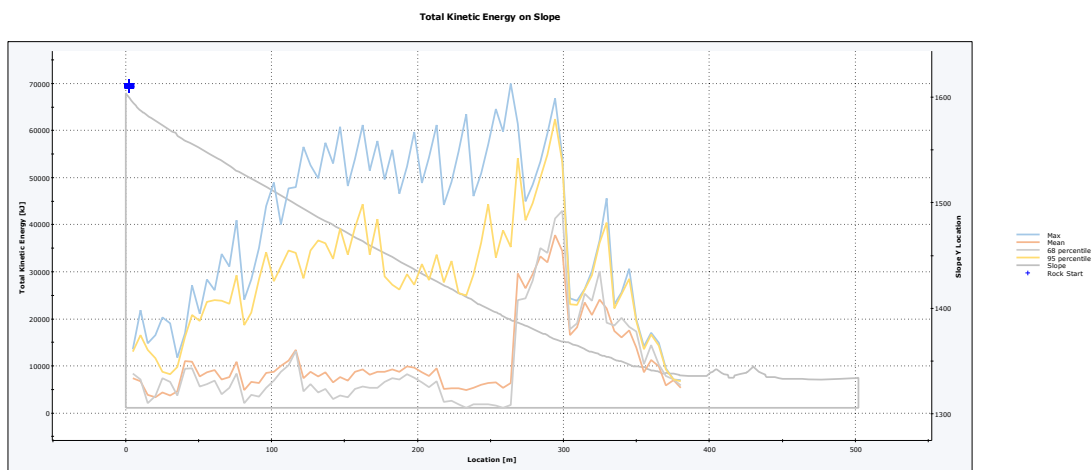
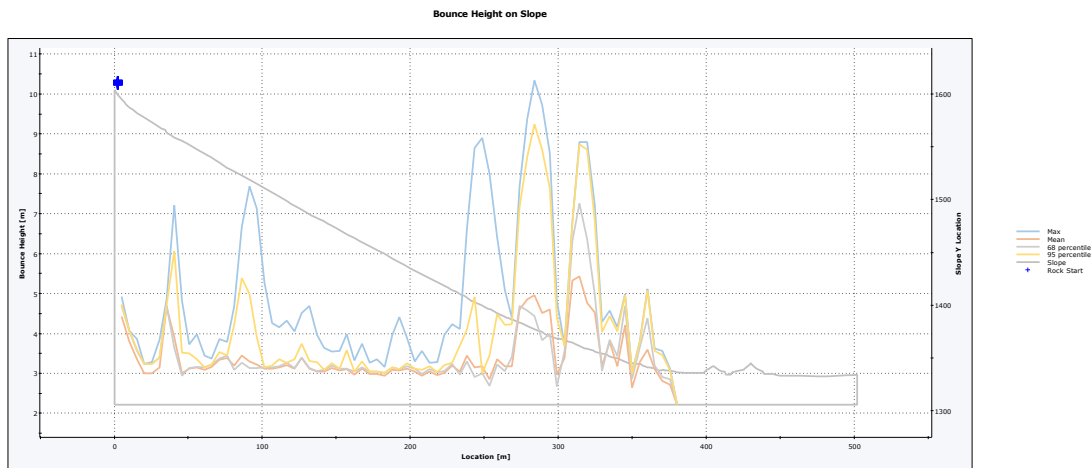
#### 5.4 V 22,5 m3





## 5.5 V 61,0 m3



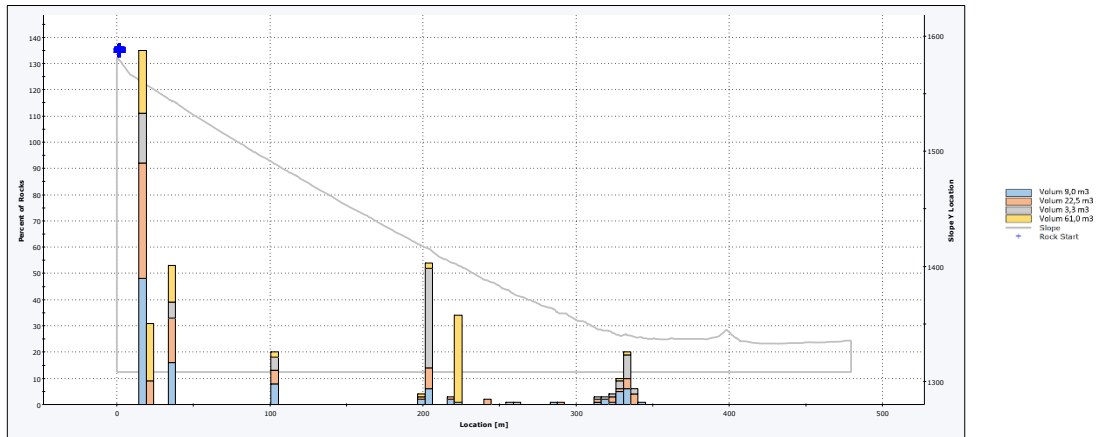


## 6 PERFIL 6

### 6.1 Combinat

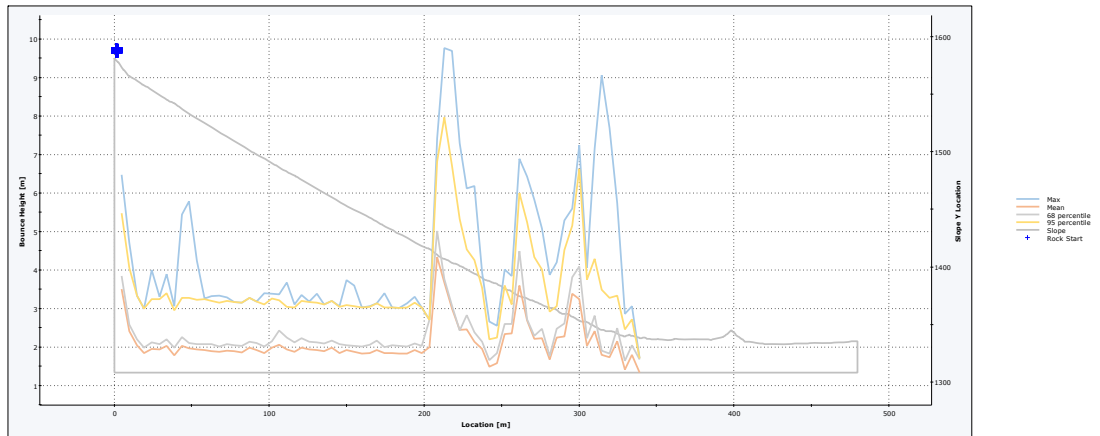


Distribution of Rock Path End Locations



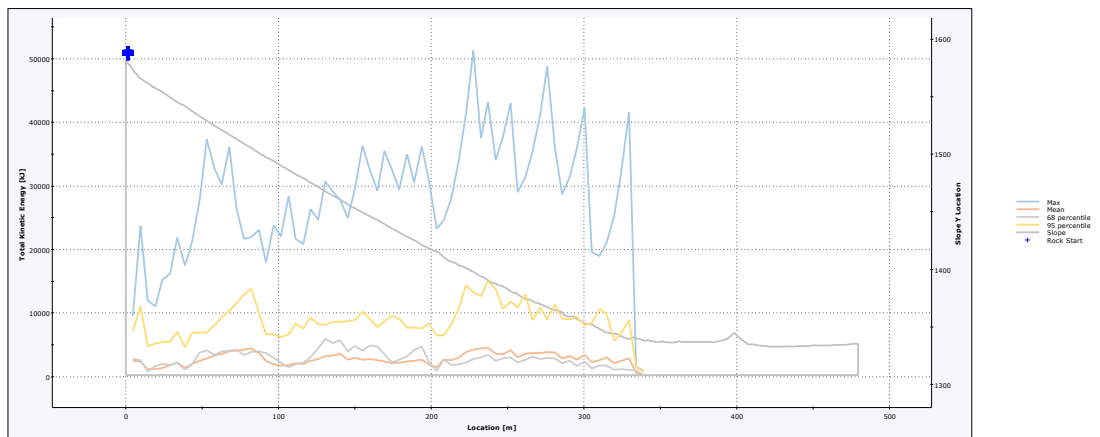
Total number of rock paths: 387

Bounce Height on Slope

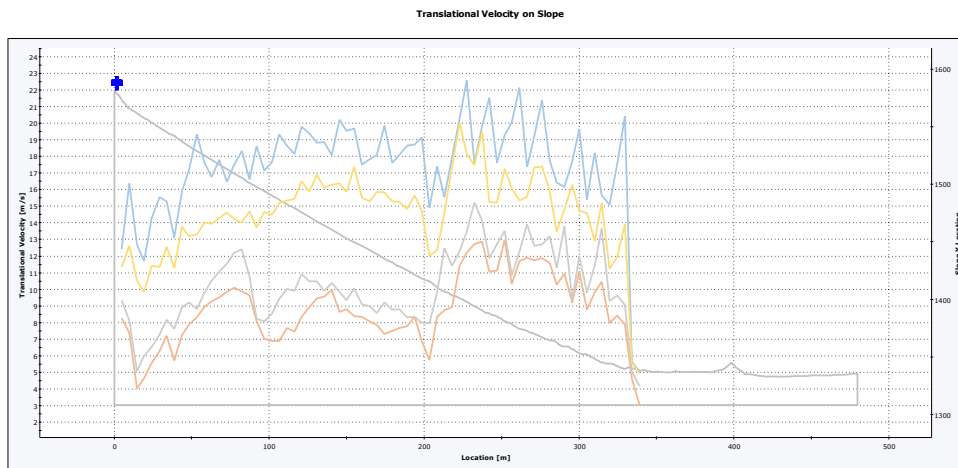


Total number of rock paths: 387

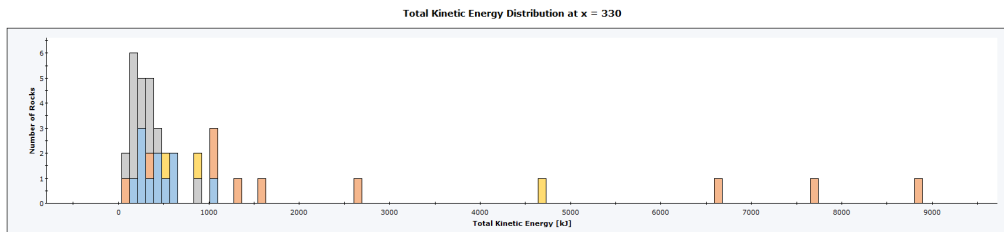
Total Kinetic Energy on Slope



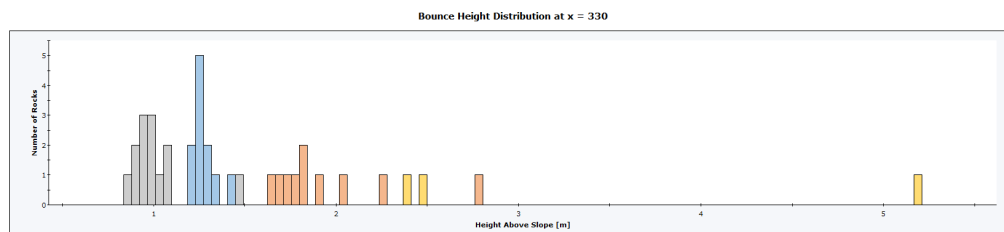
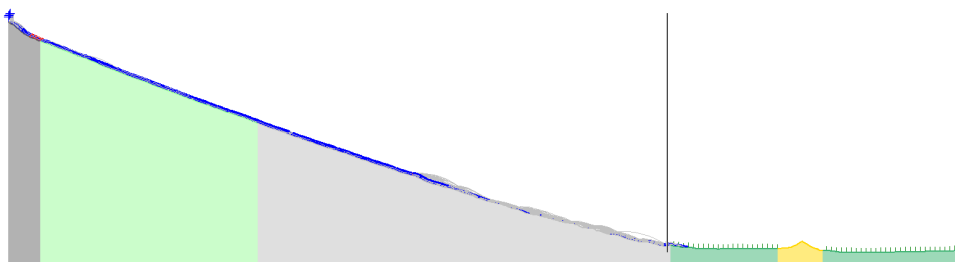
Total number of rock paths: 387



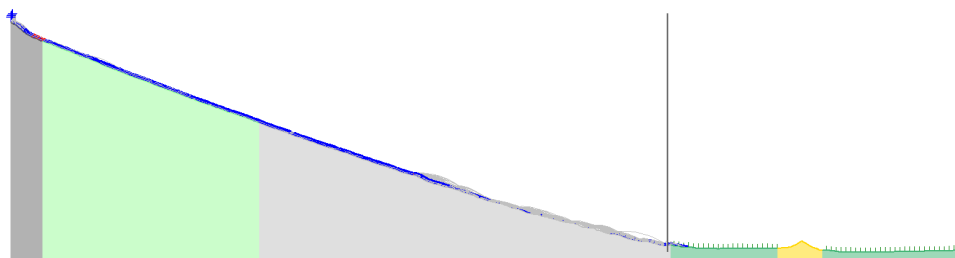
Total number of rock paths: 387



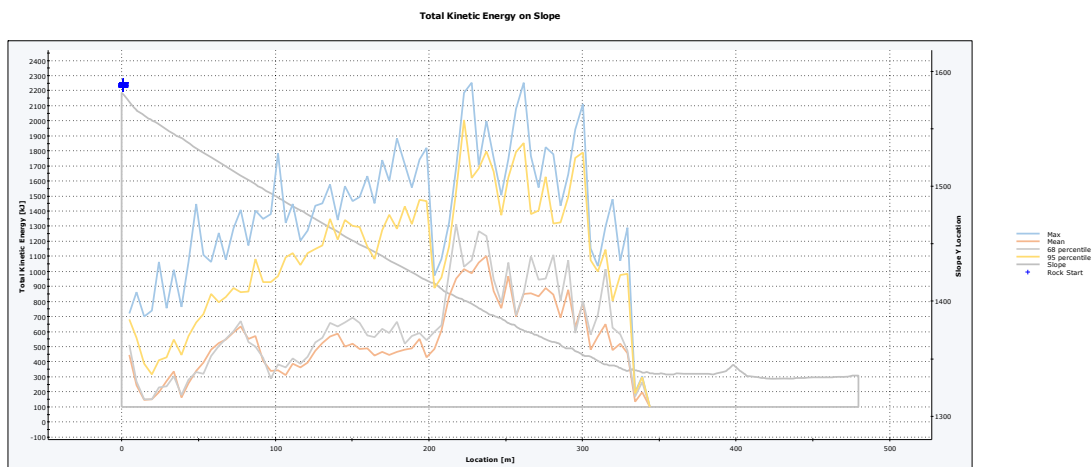
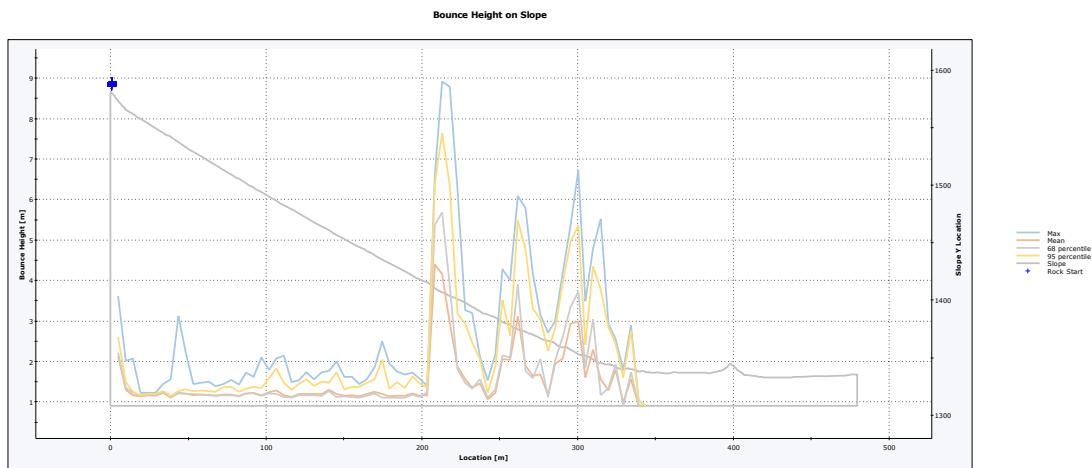
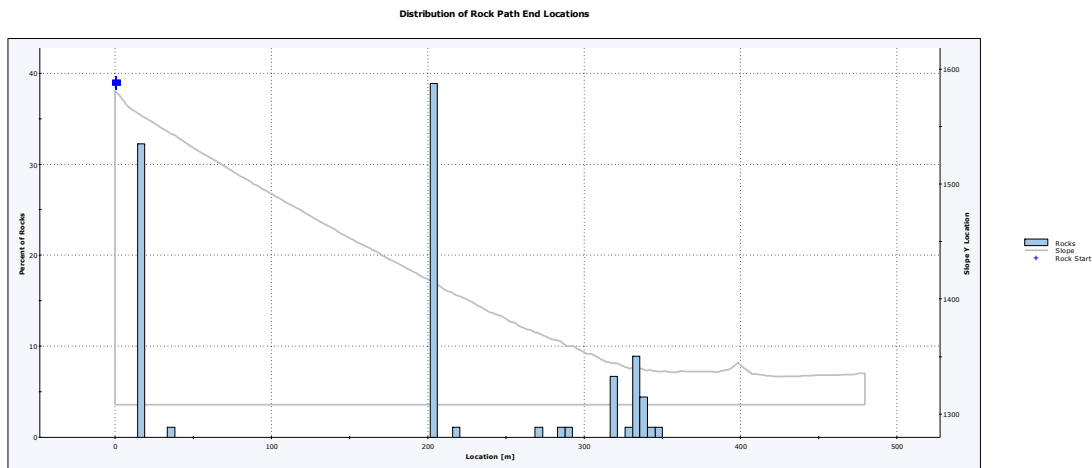
Total number of rock paths: 387

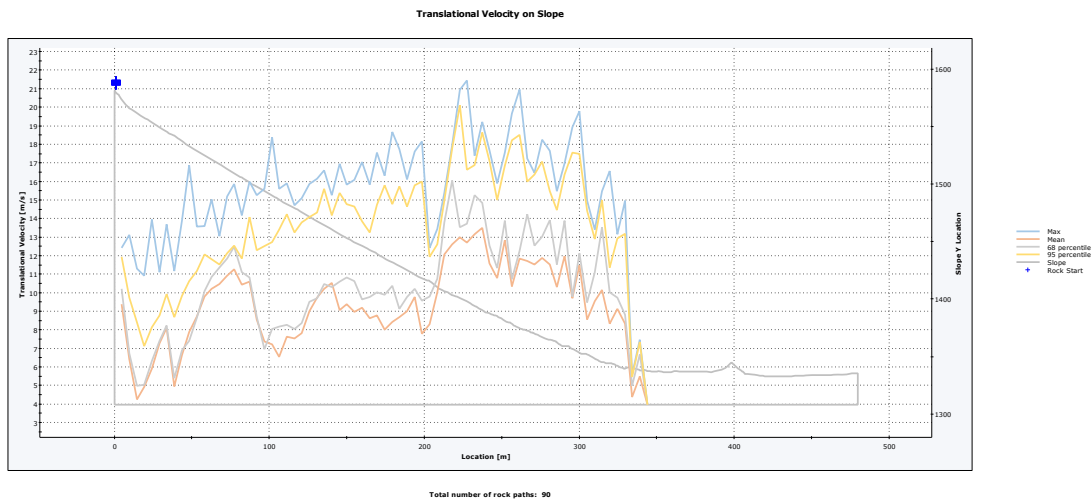


Total number of rock paths: 387

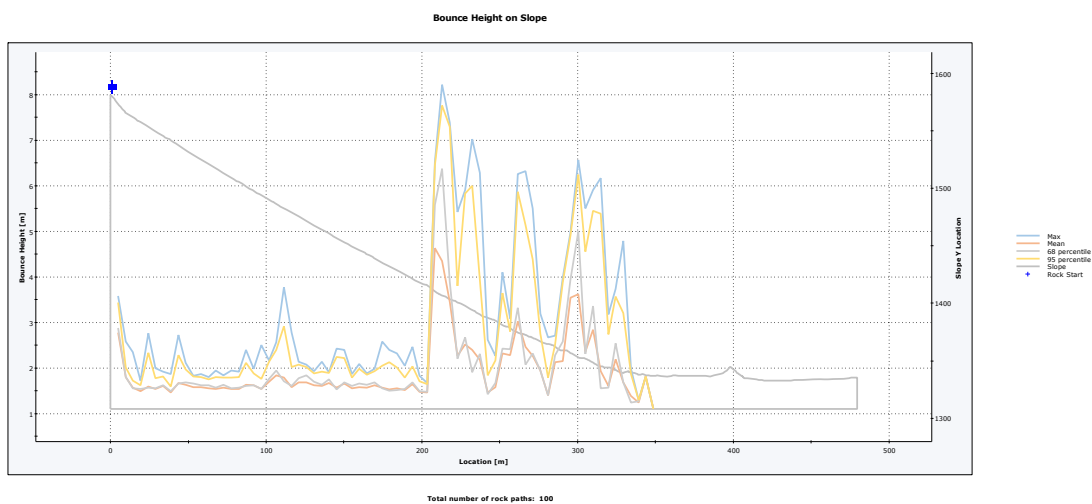
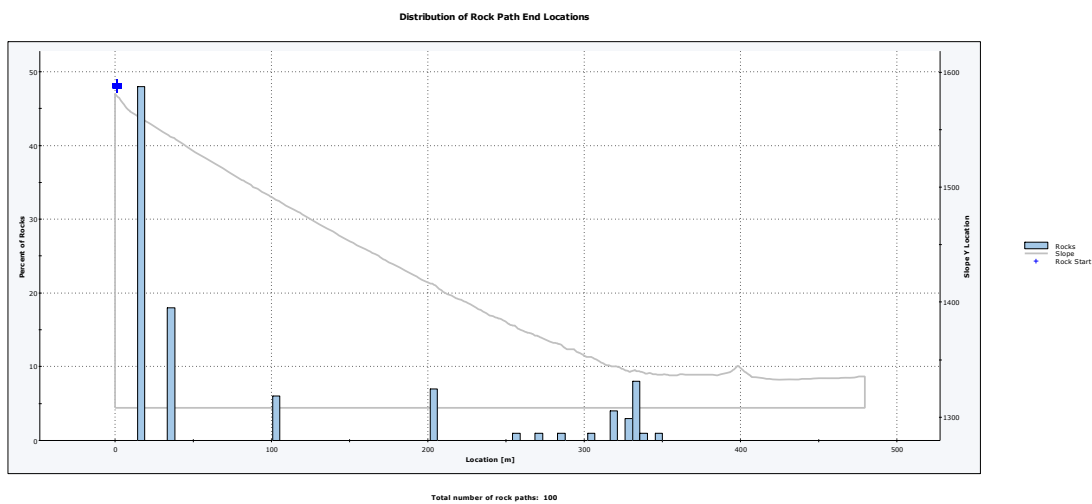


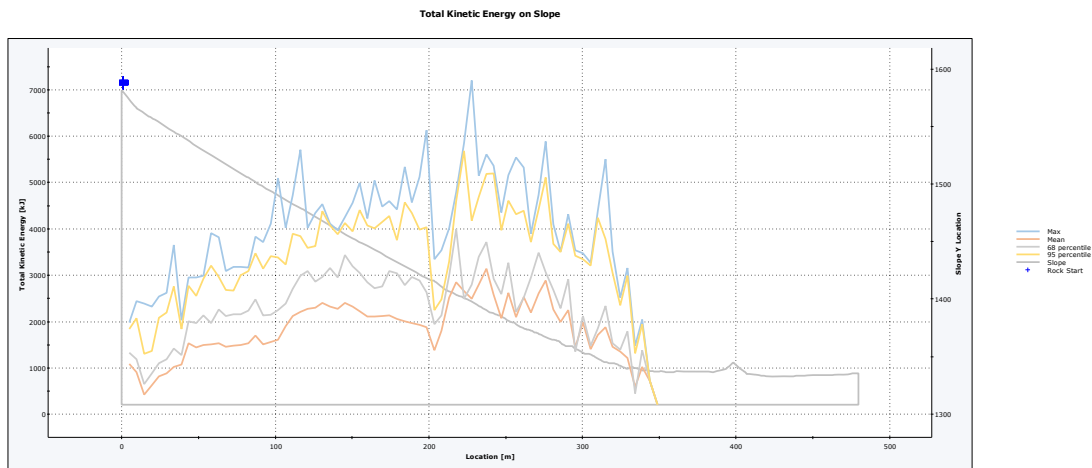
## 6.2 V 3,3 m3



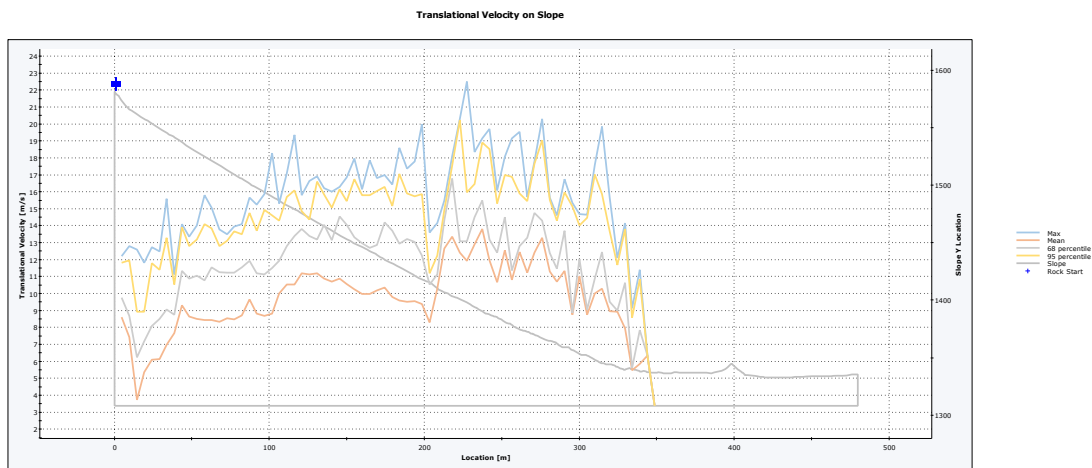


### 6.3 V 9,0 m3



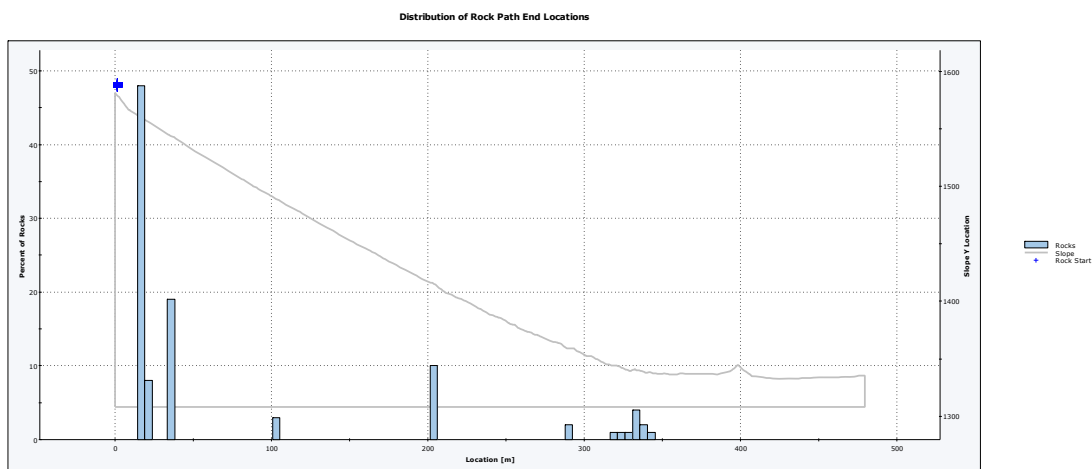


Total number of rock paths: 100

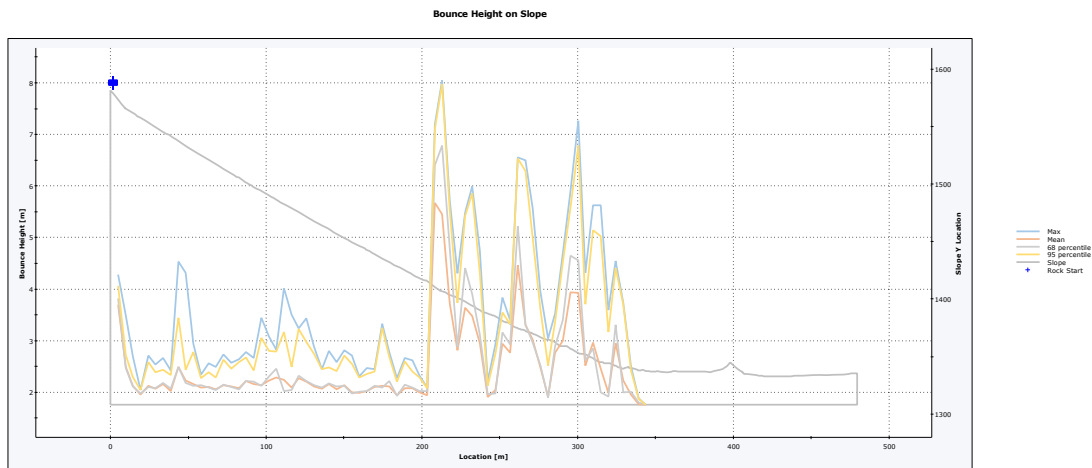


Total number of rock paths: 100

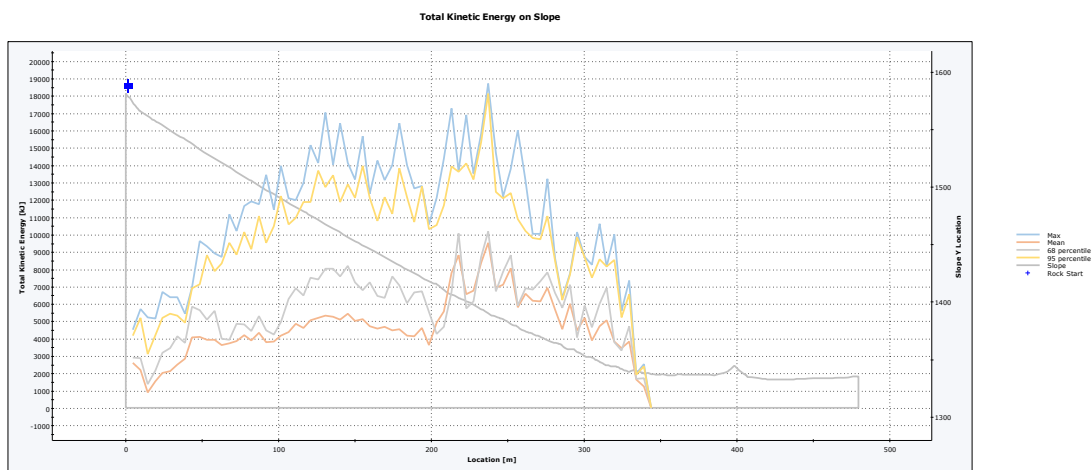
## 6.4 V 22,5 m3



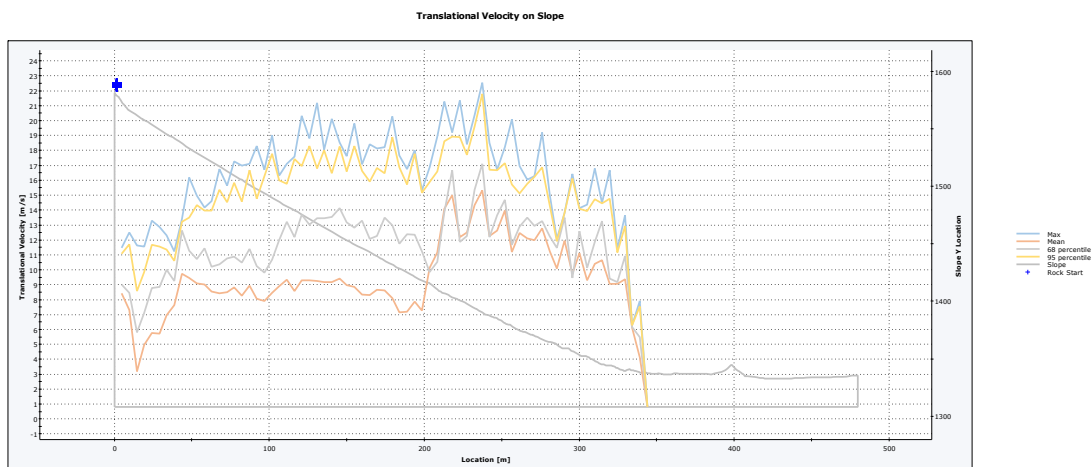
Total number of rock paths: 100



Total number of rock paths: 100

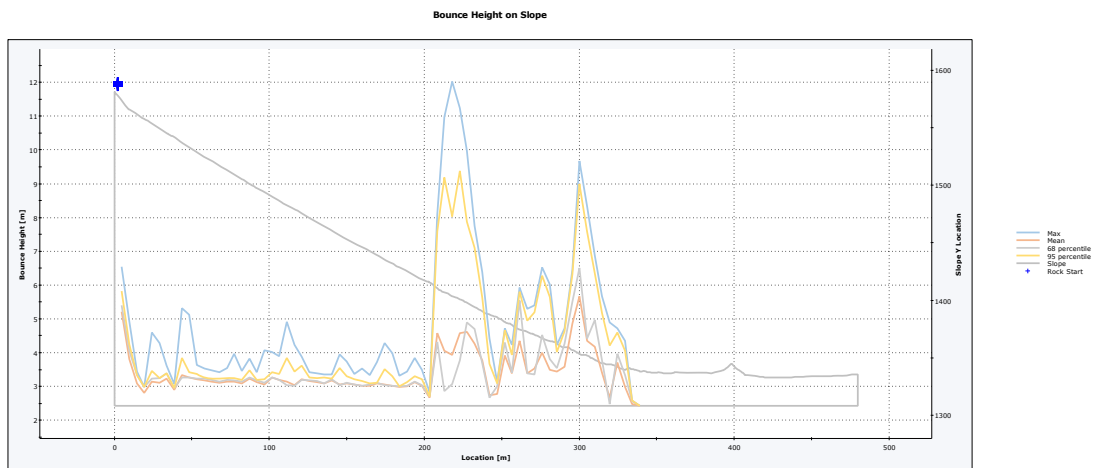
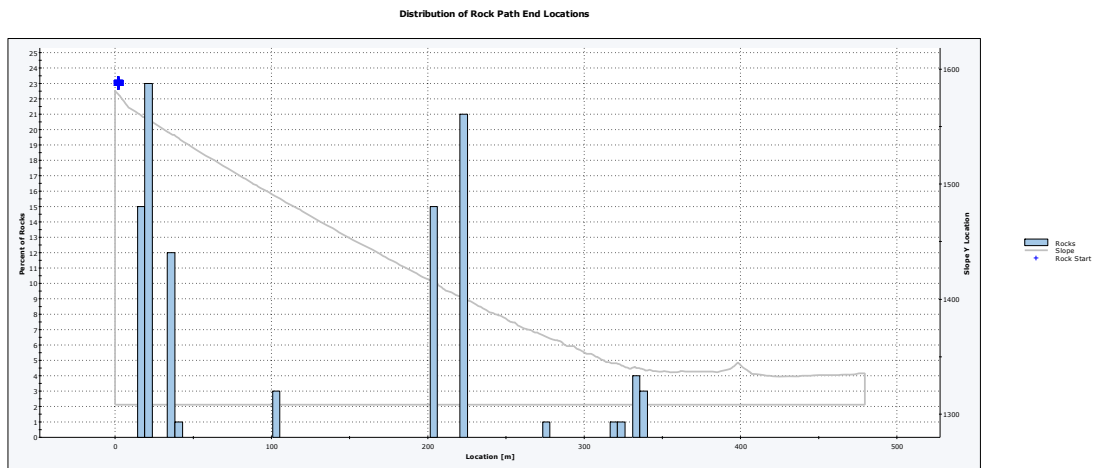


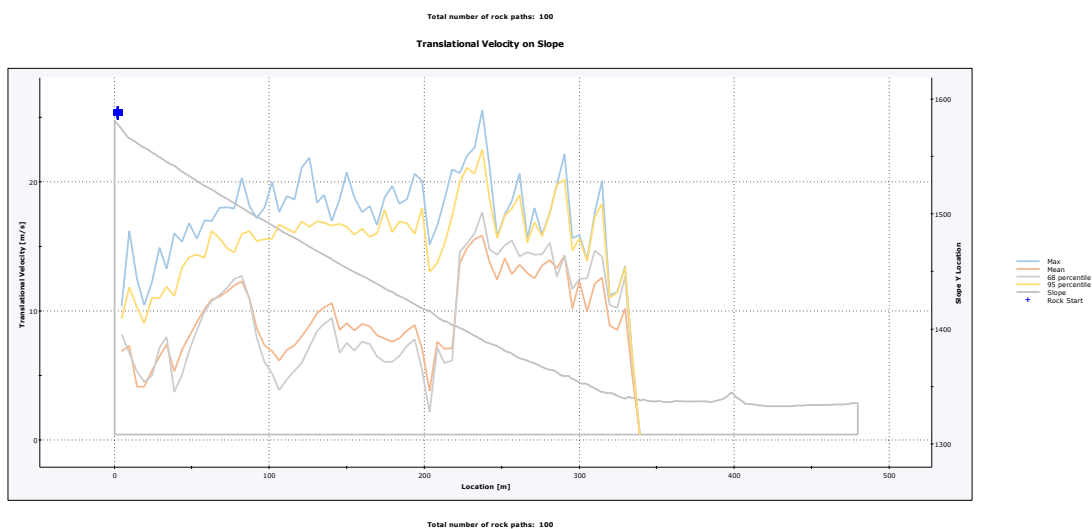
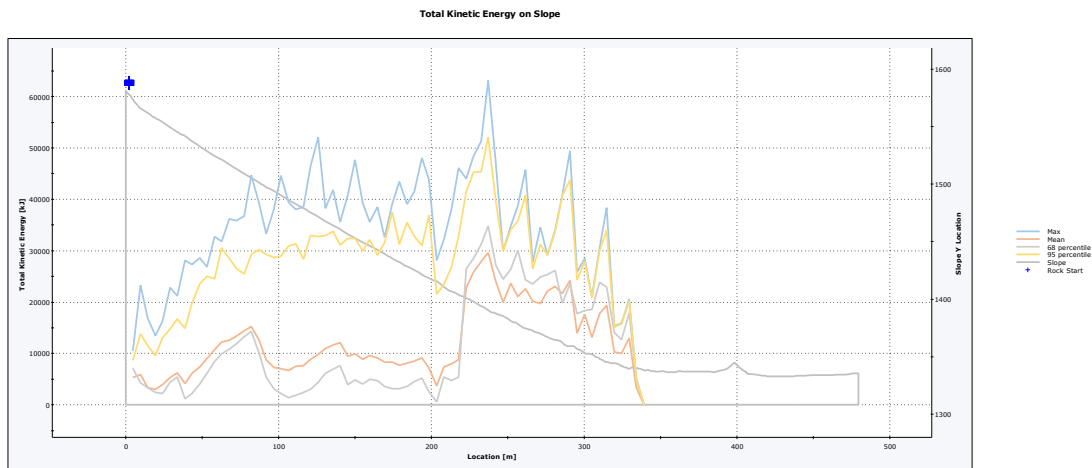
Total number of rock paths: 100



Total number of rock paths: 100

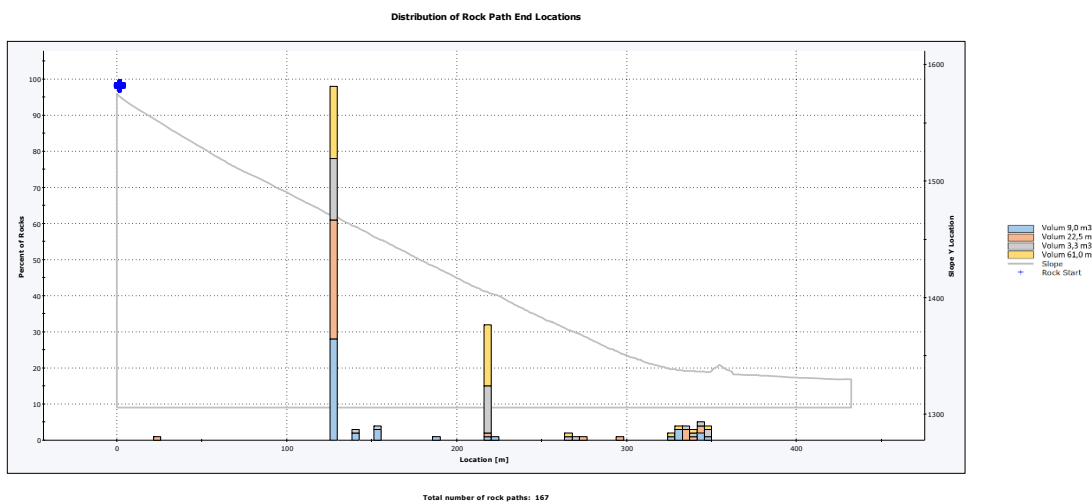
**6.5 V 61,0 m3**



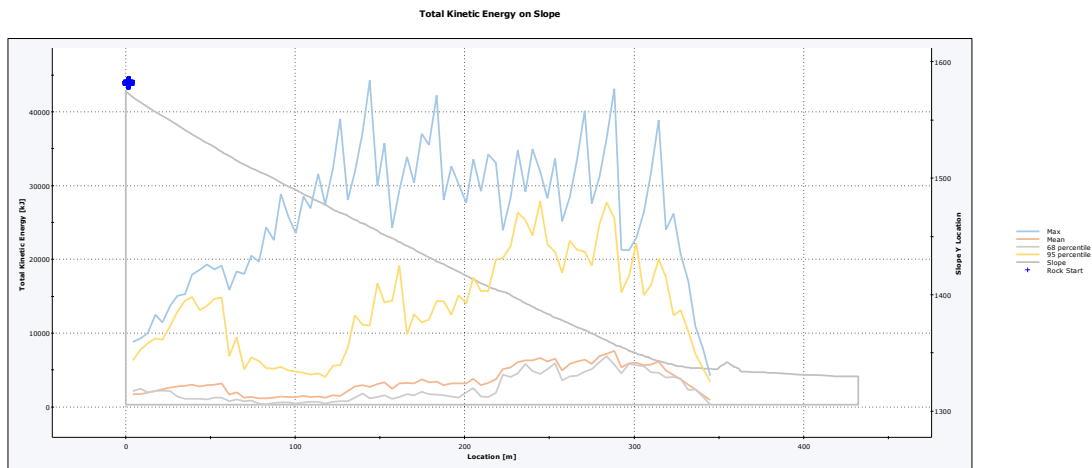


## 7 PERFIL 7

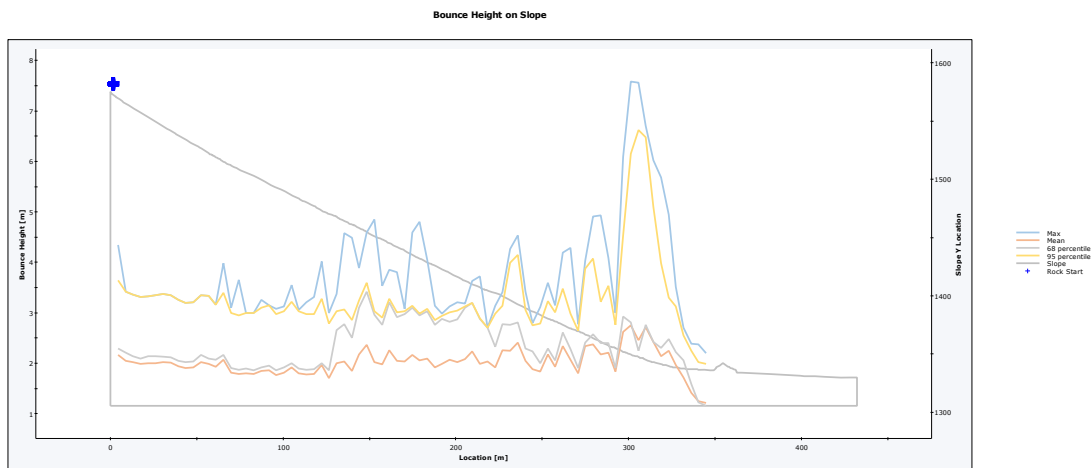
### 7.1 Combinat



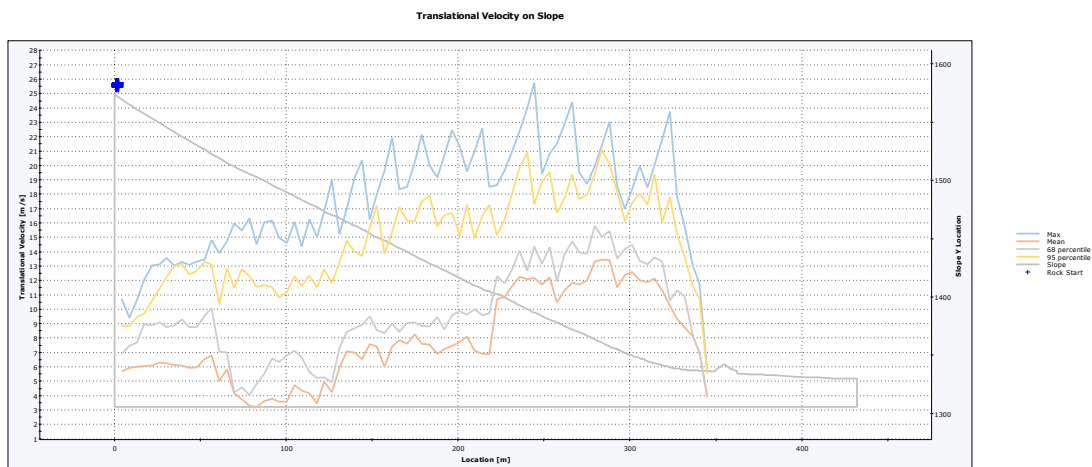




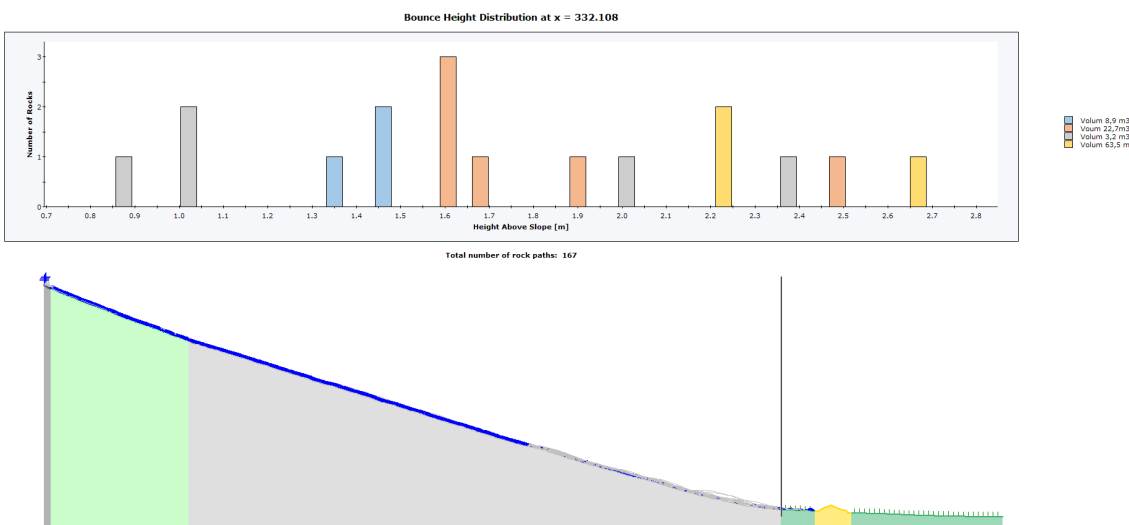
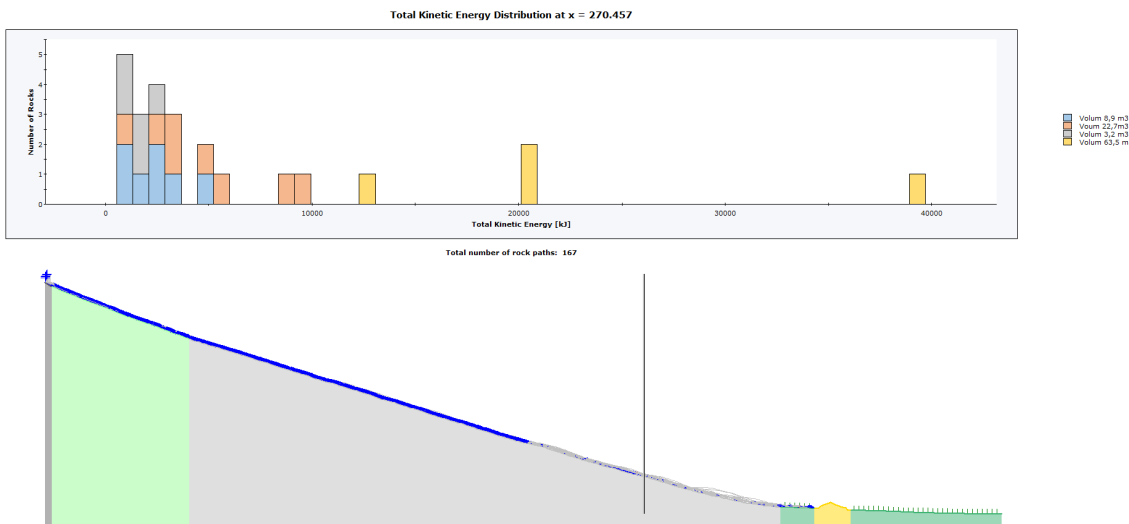
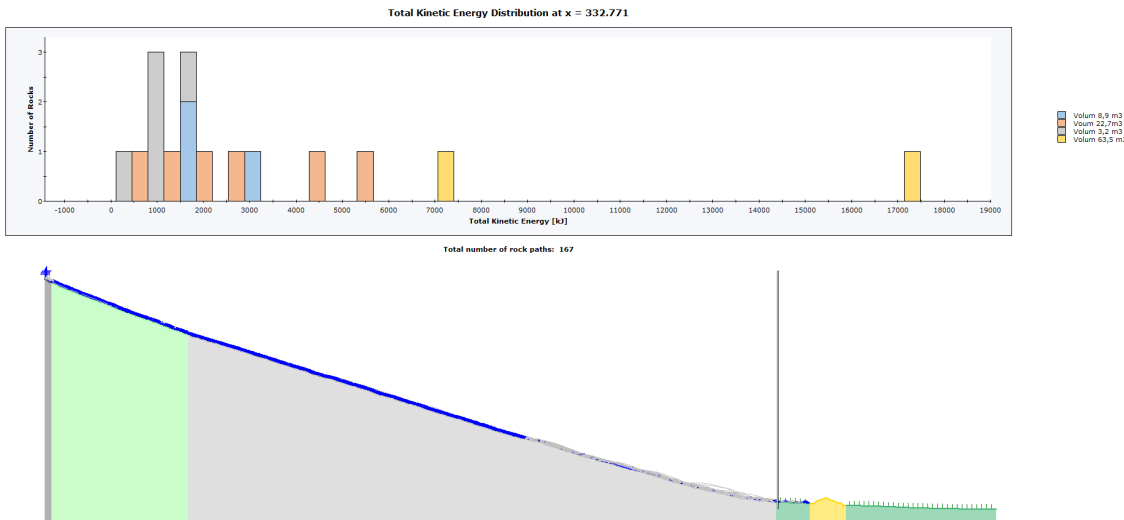
Total number of rock paths: 167



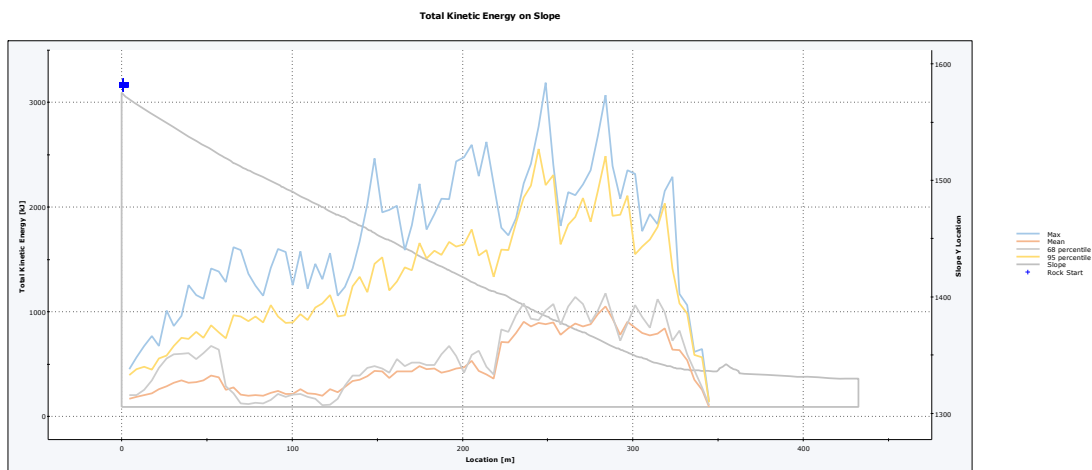
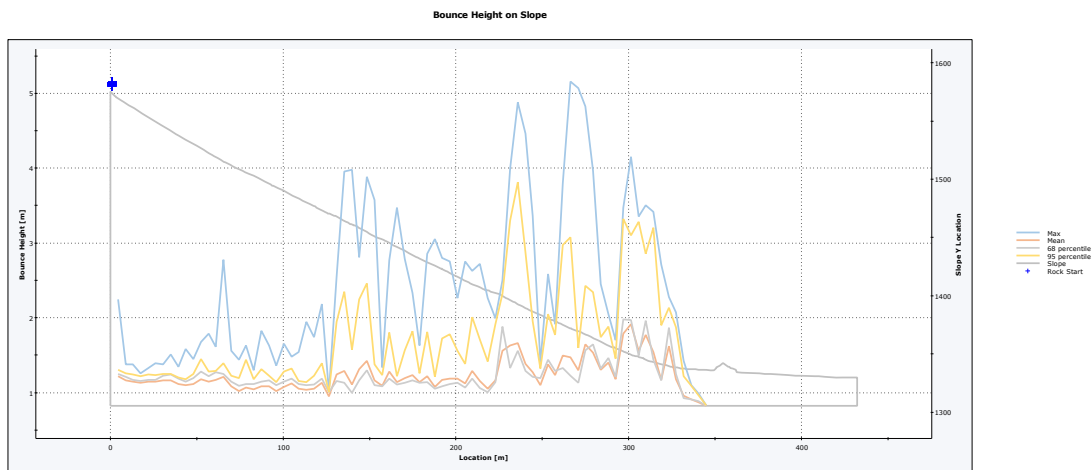
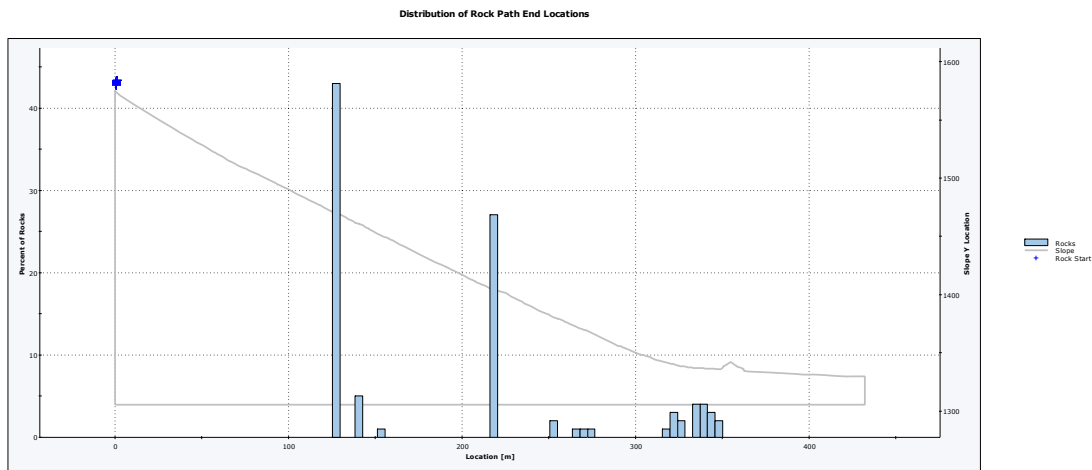
Total number of rock paths: 167

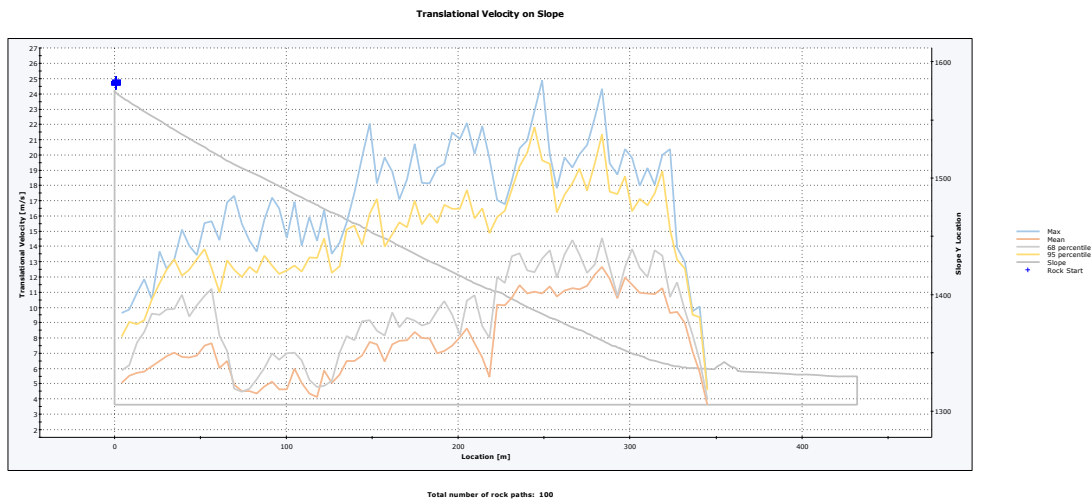


Total number of rock paths: 167

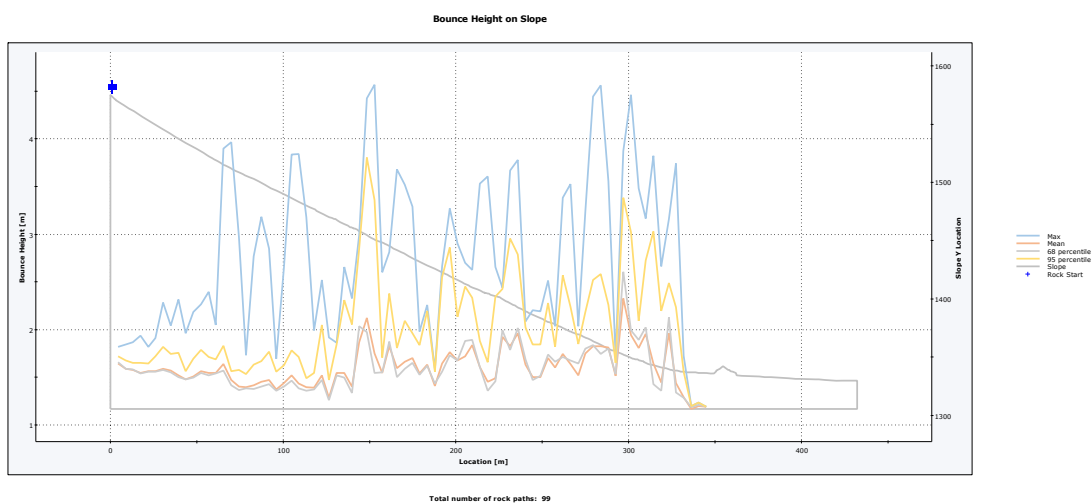
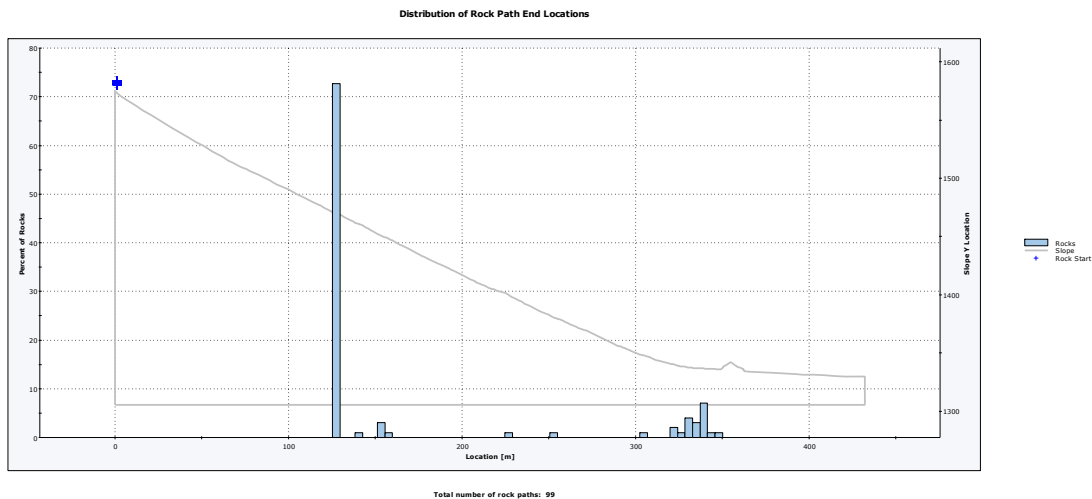


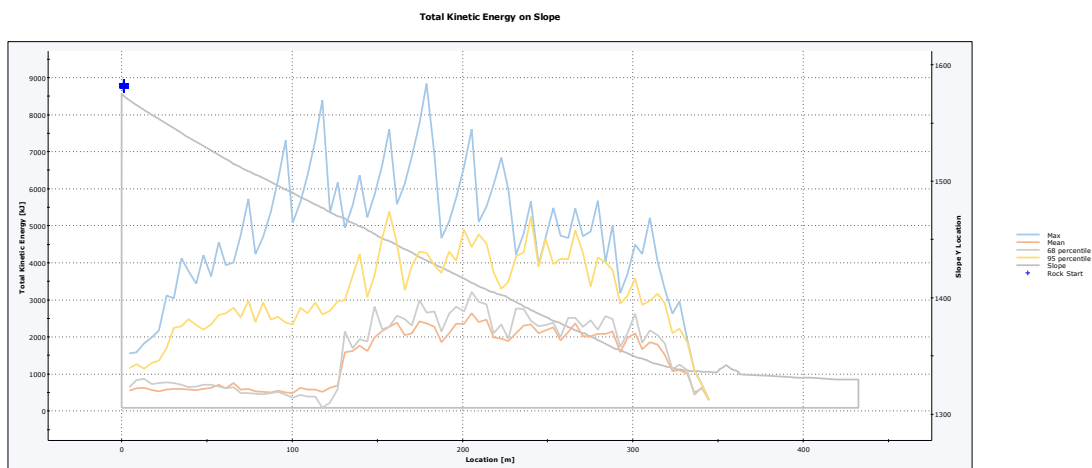
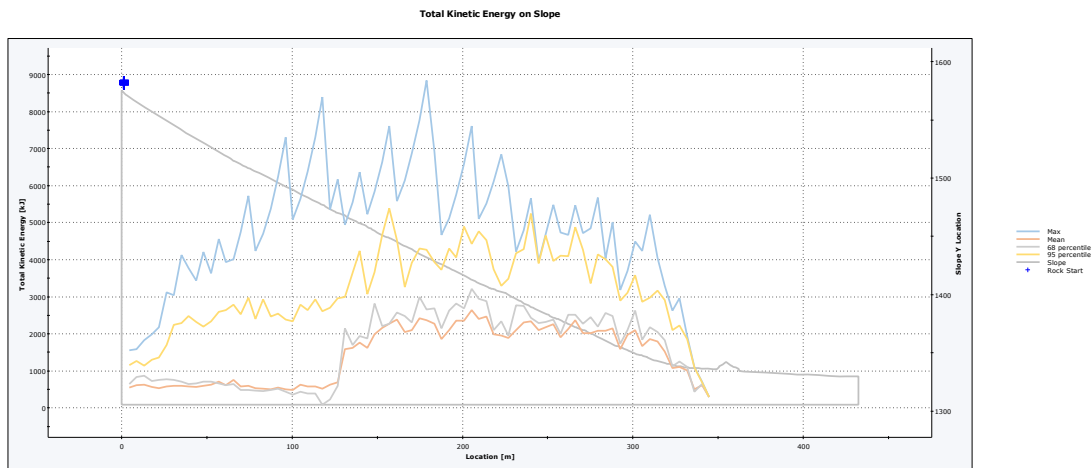
**7.2 V 3,3 m3**



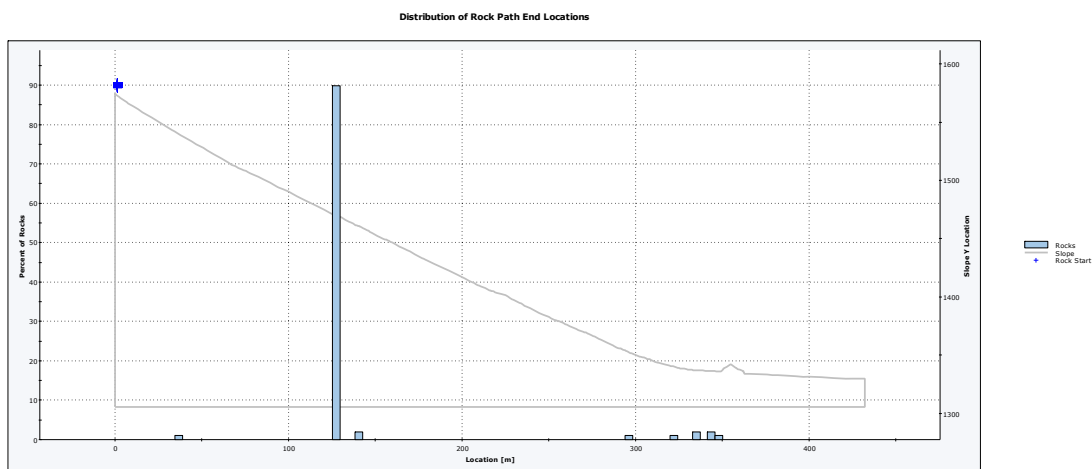


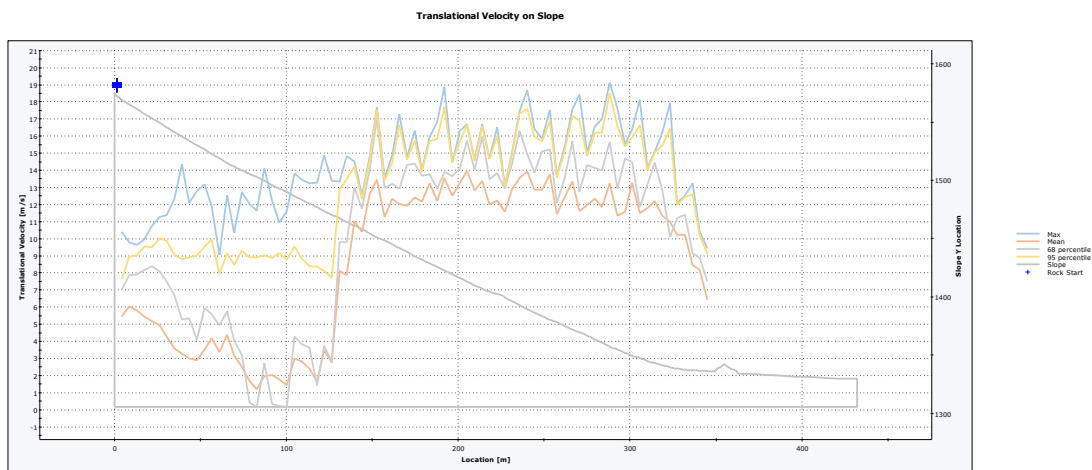
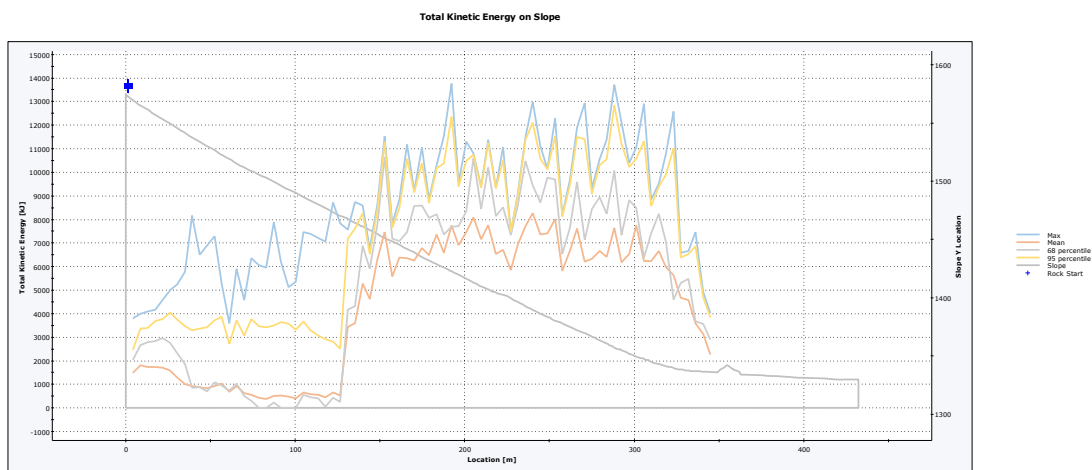
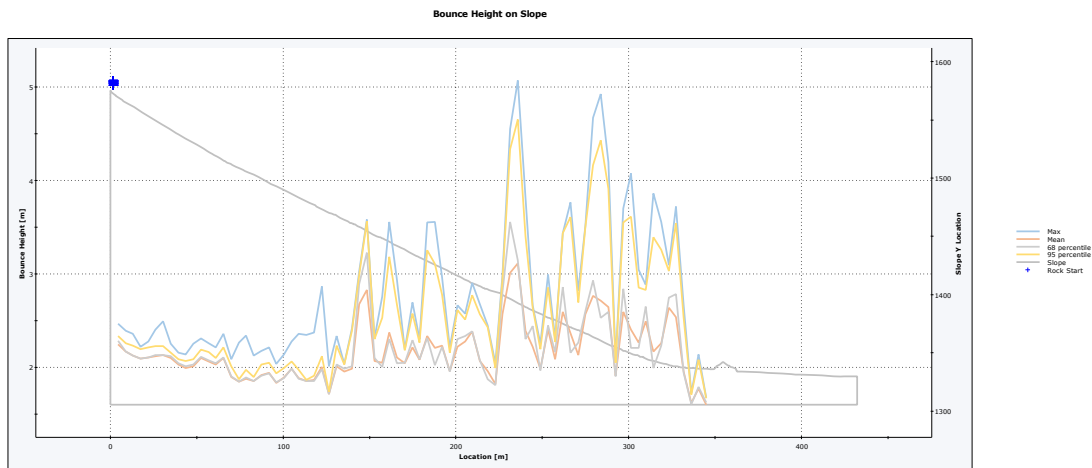
### 7.3 V9,0 m3





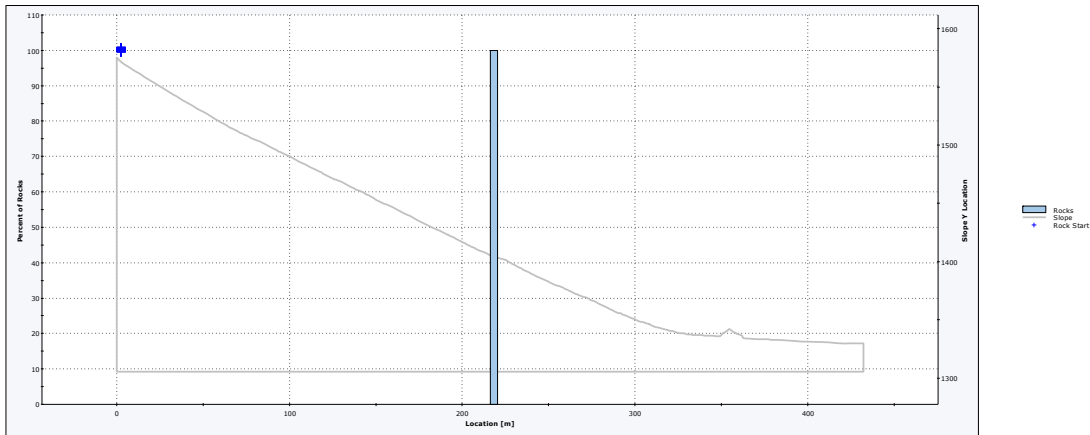
## 7.4 V 22,5 m3





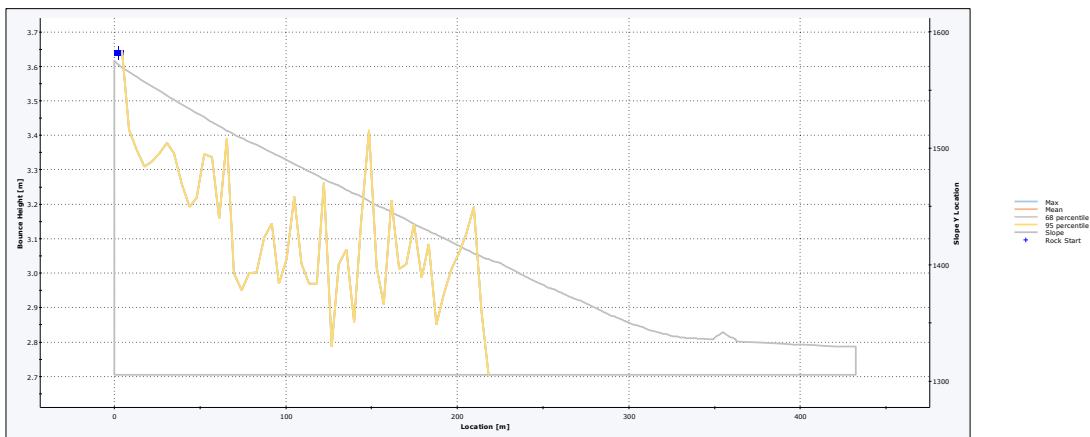
**7.5 V 61,0 m3**

Distribution of Rock Path End Locations



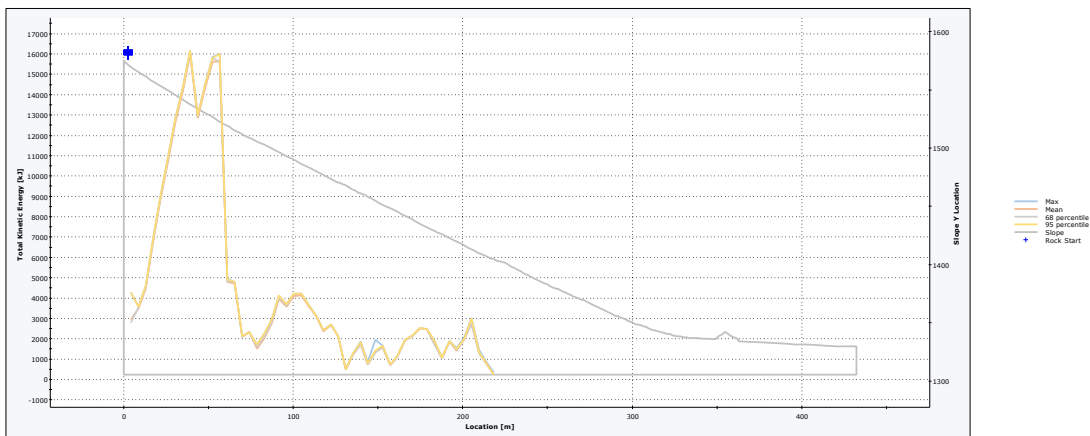
Total number of rock paths: 100

Bounce Height on Slope

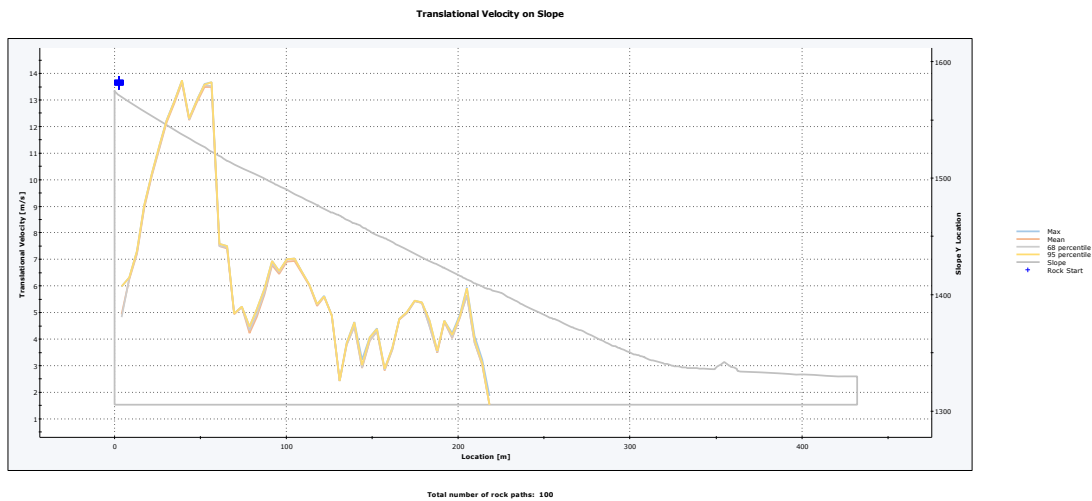


Total number of rock paths: 100

Total Kinetic Energy on Slope

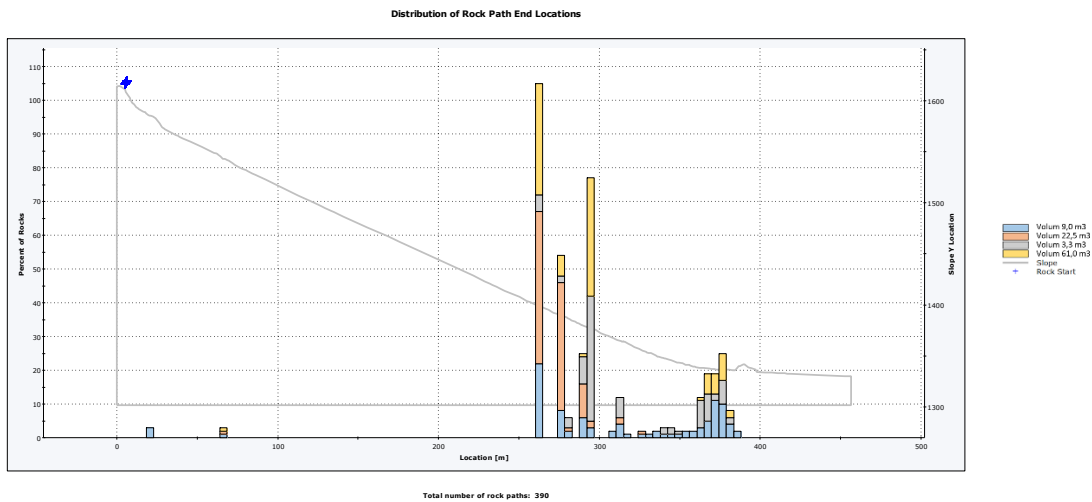


Total number of rock paths: 100

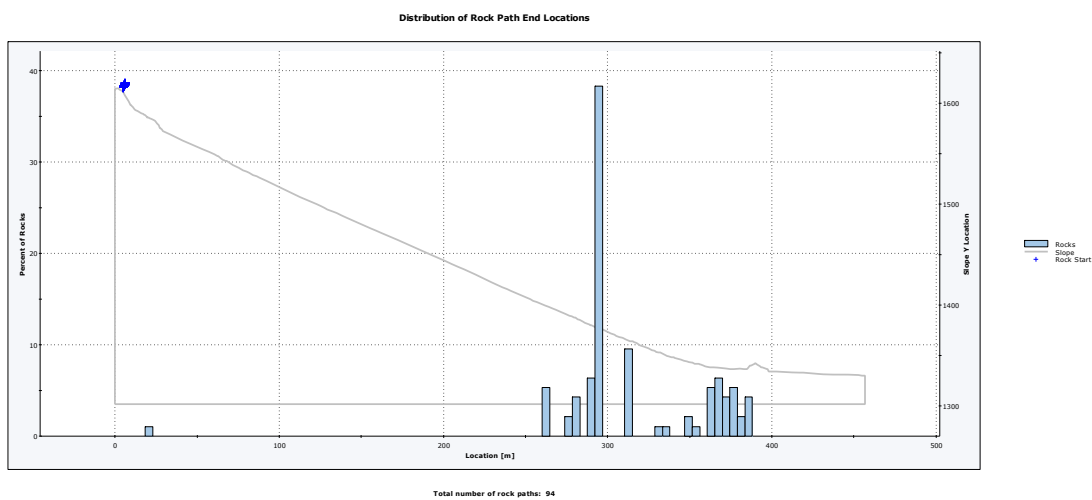


## 8 PERFIL 8

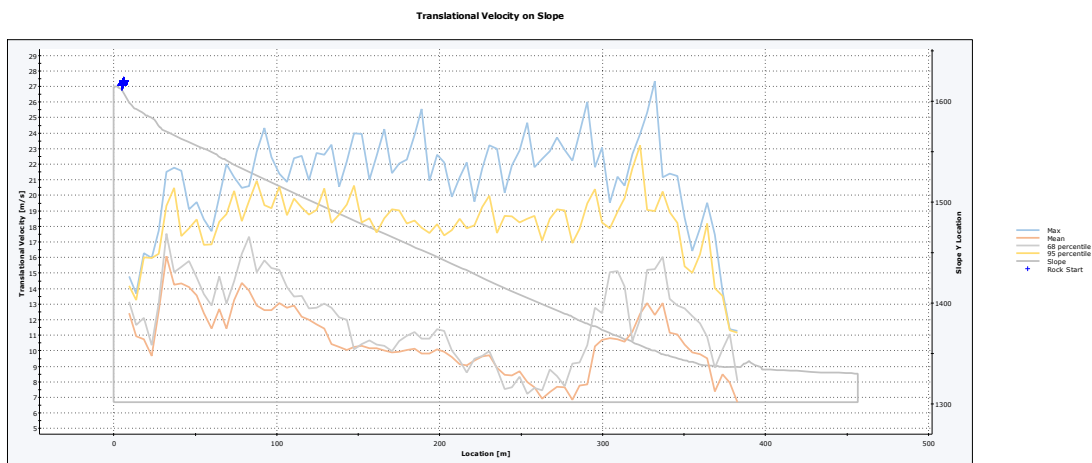
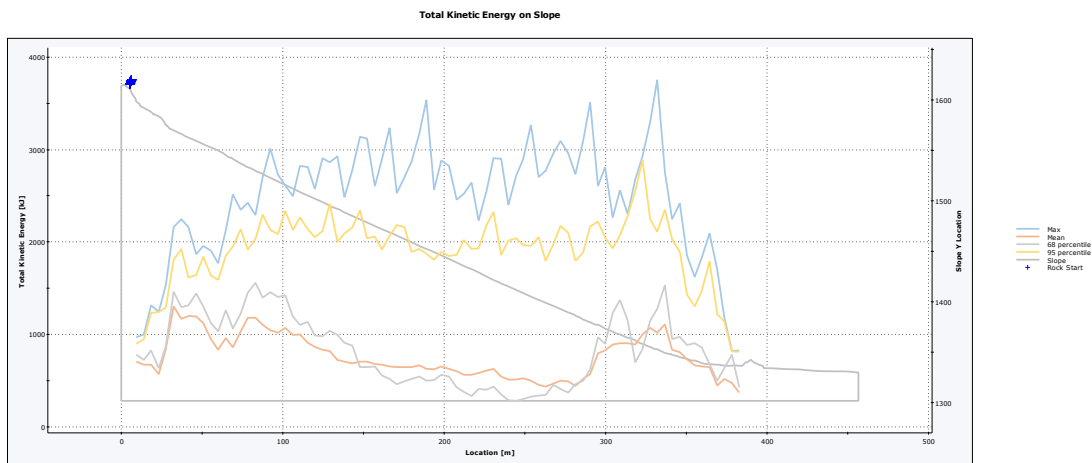
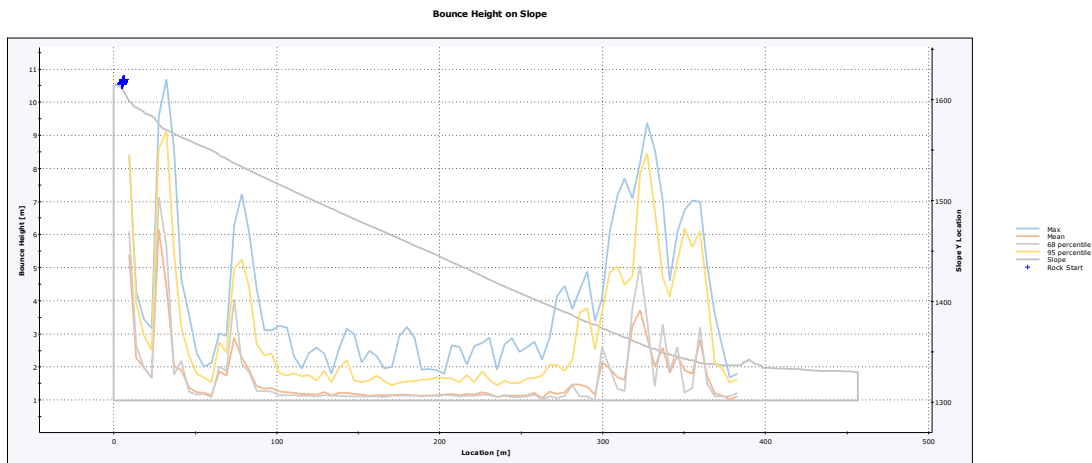
### 8.1 Combinats



### 8.2 V 3,3 m3

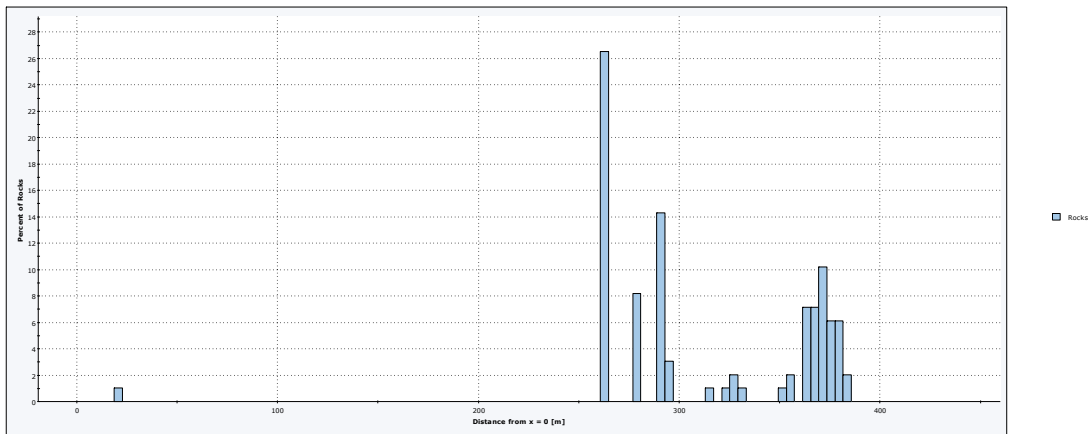






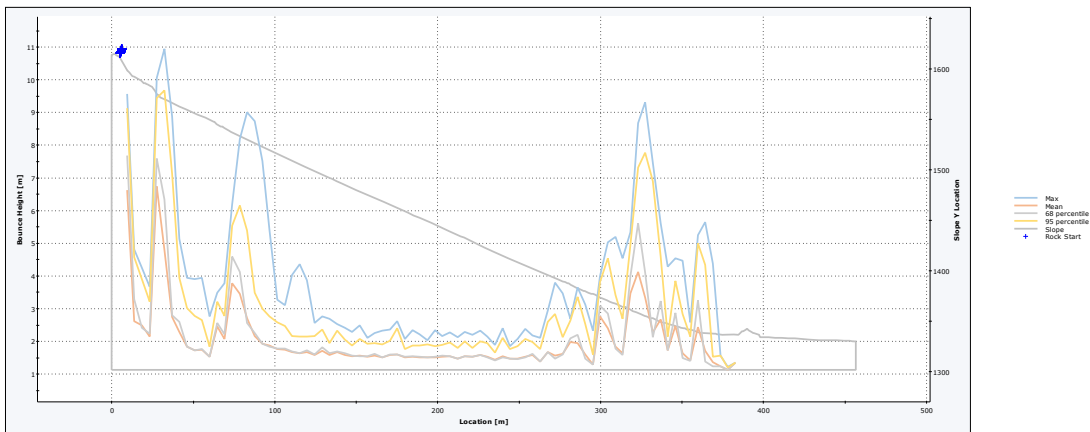
### 8.3 V 9,0 m3

Distribution of Rock Path End Locations



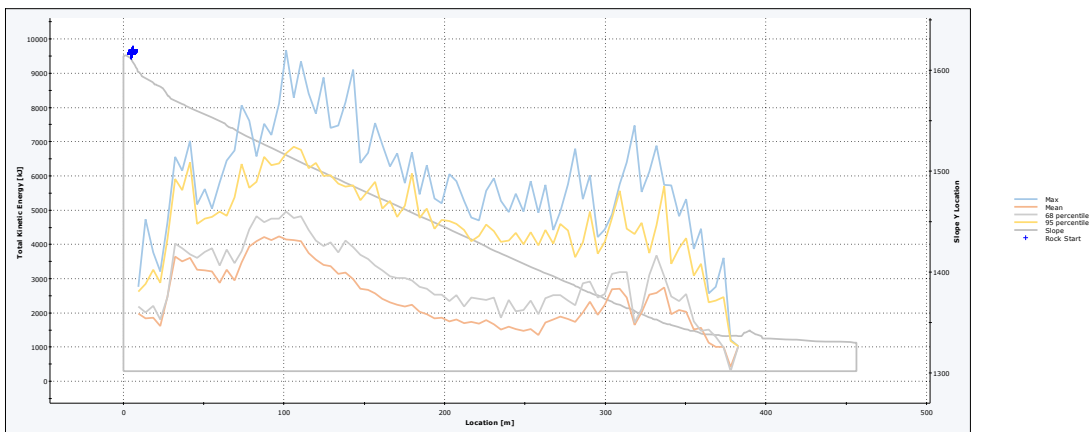
Total number of rock paths: 98

Bounce Height on Slope

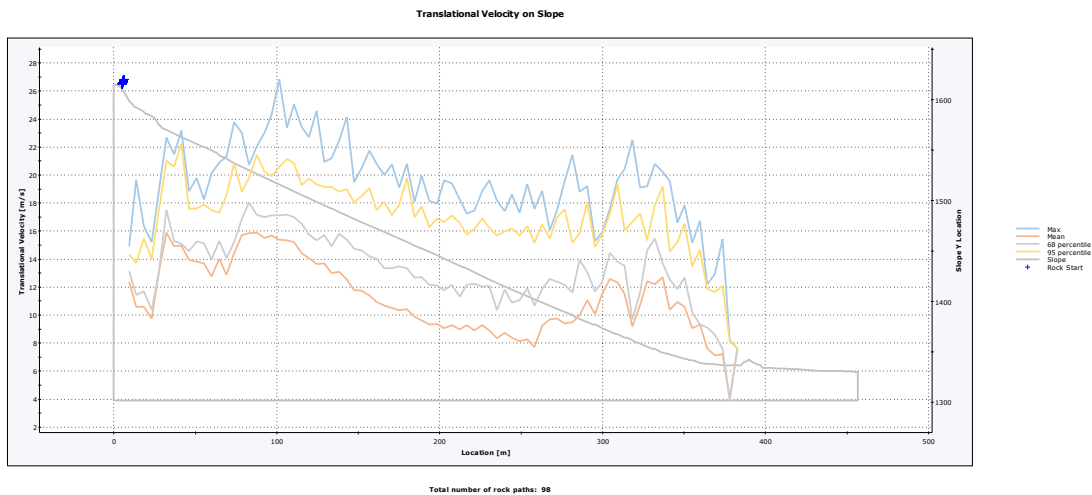


Total number of rock paths: 98

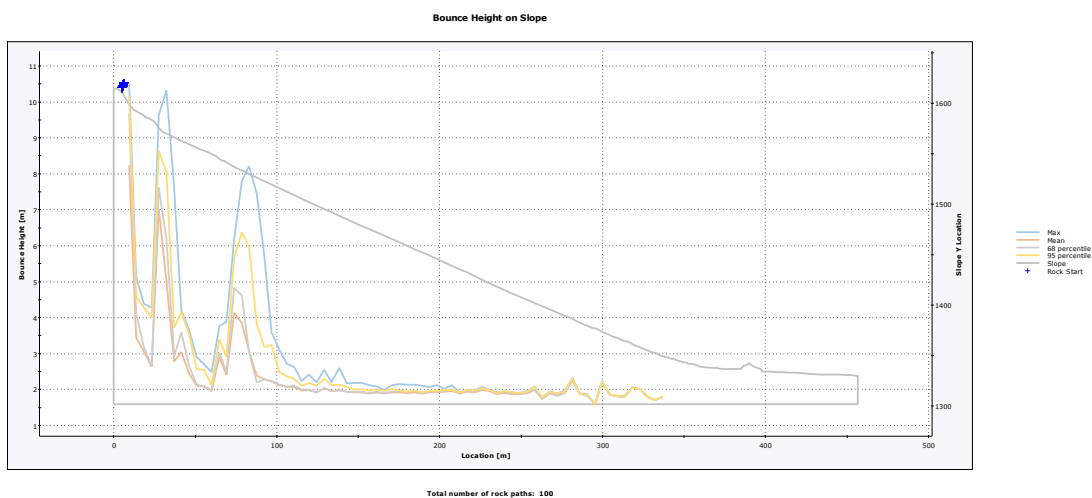
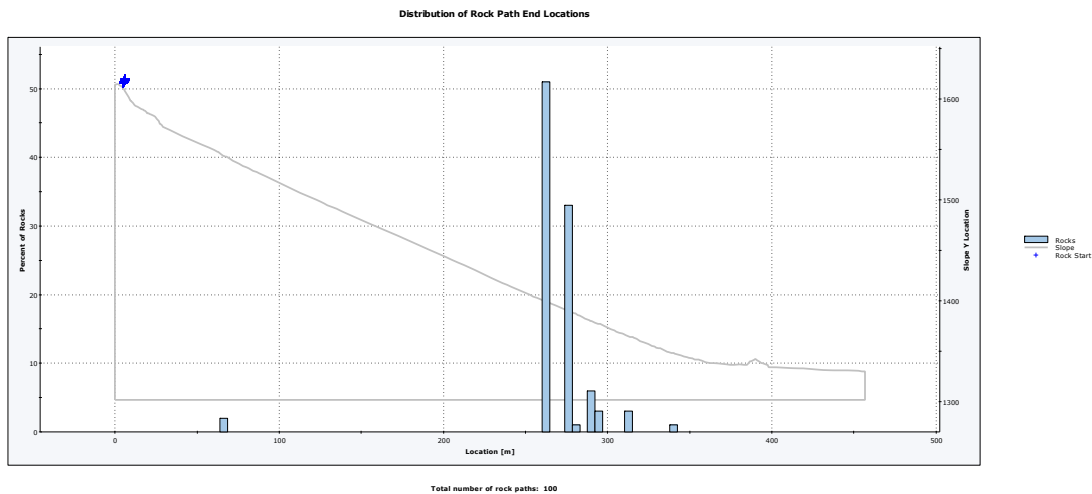
Total Kinetic Energy on Slope

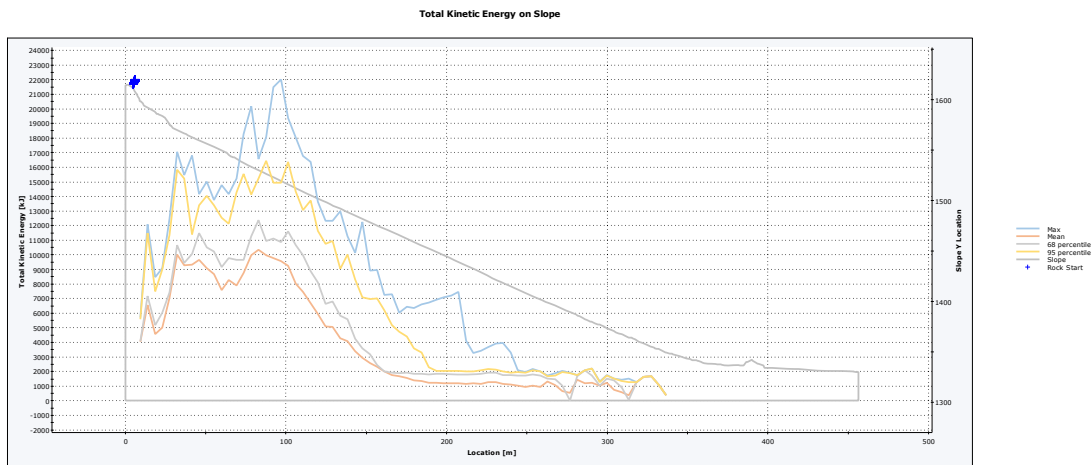


Total number of rock paths: 98

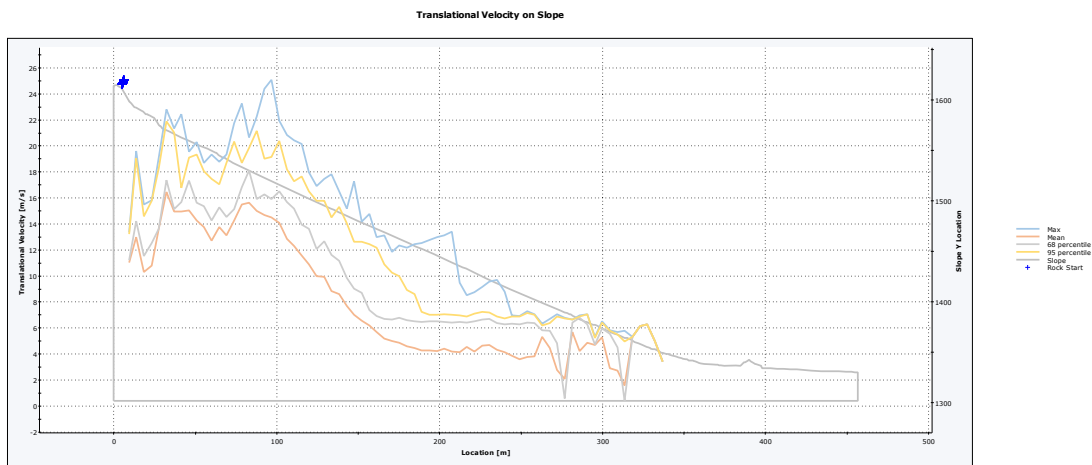


### 8.4 V 22,5 m3



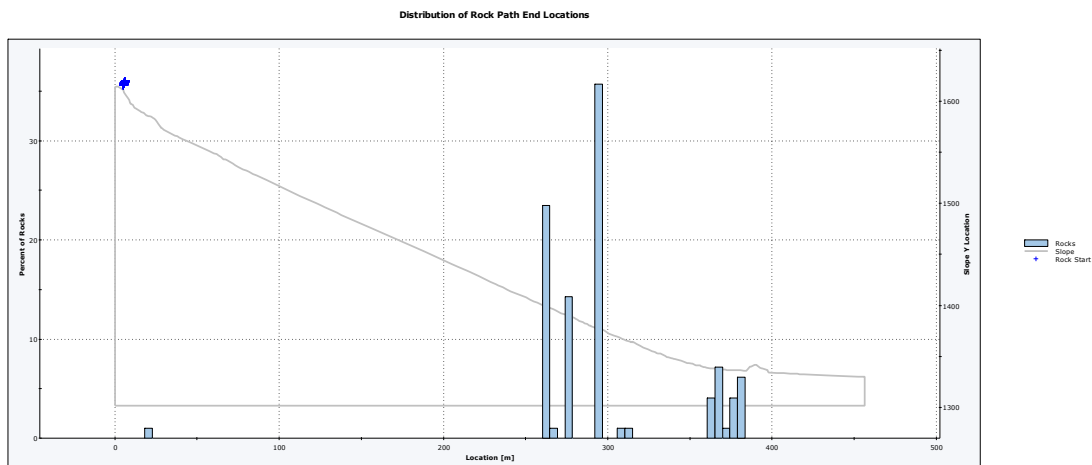


Total number of rock paths: 100

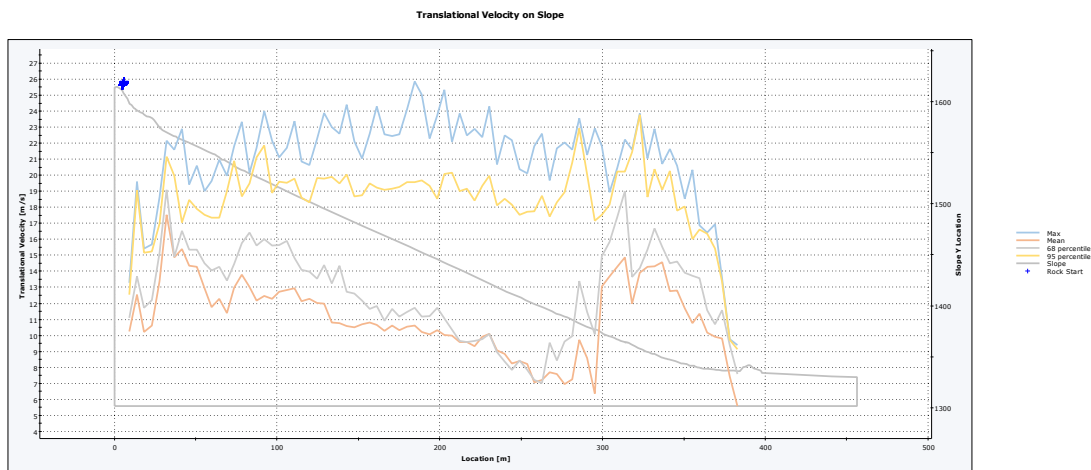
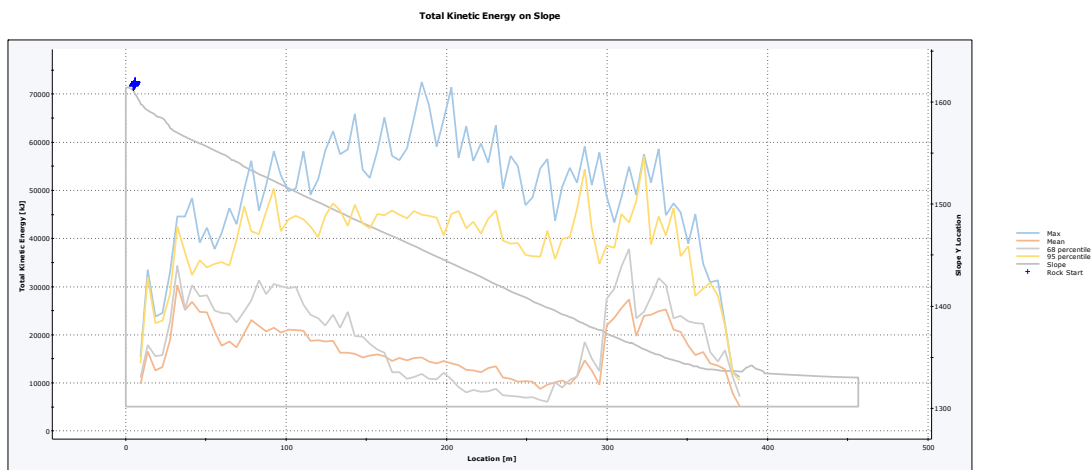
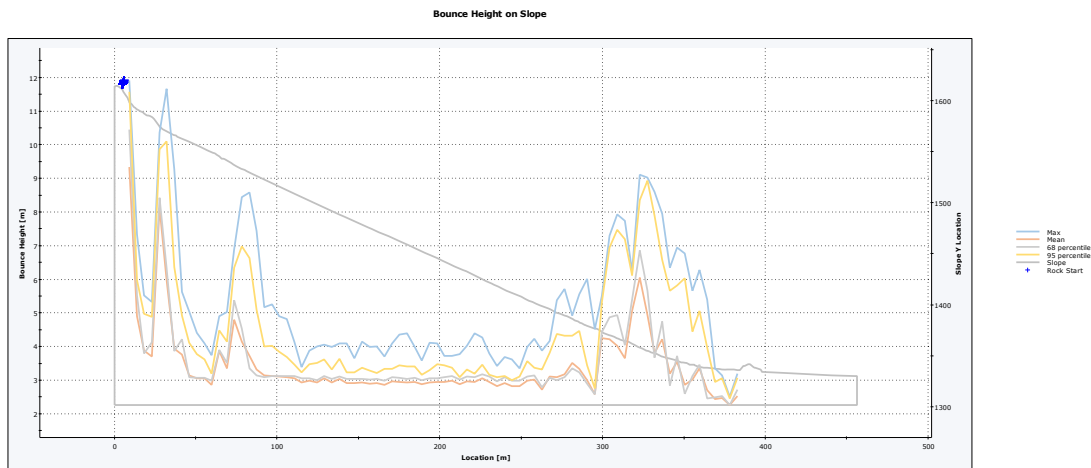


Total number of rock paths: 100

## 8.5 V 61,0 m3



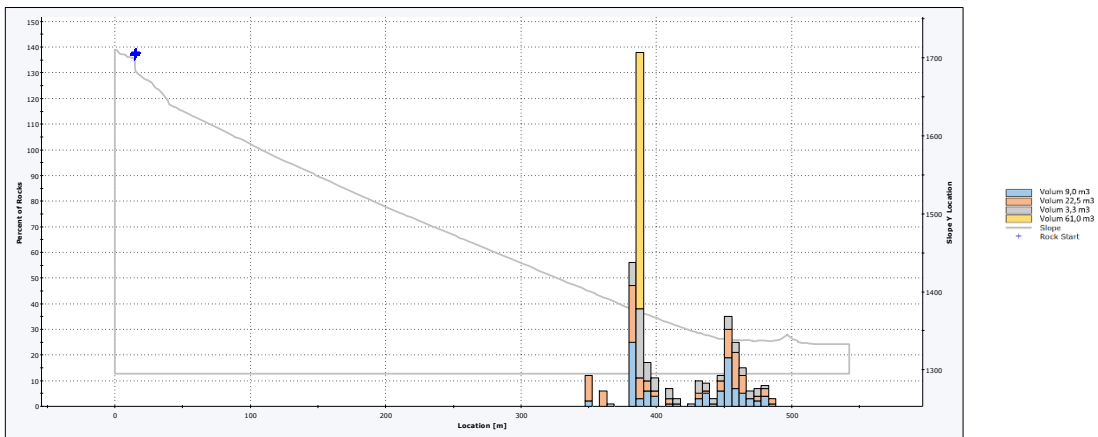
Total number of rock paths: 98



## 9 PERFIL 9

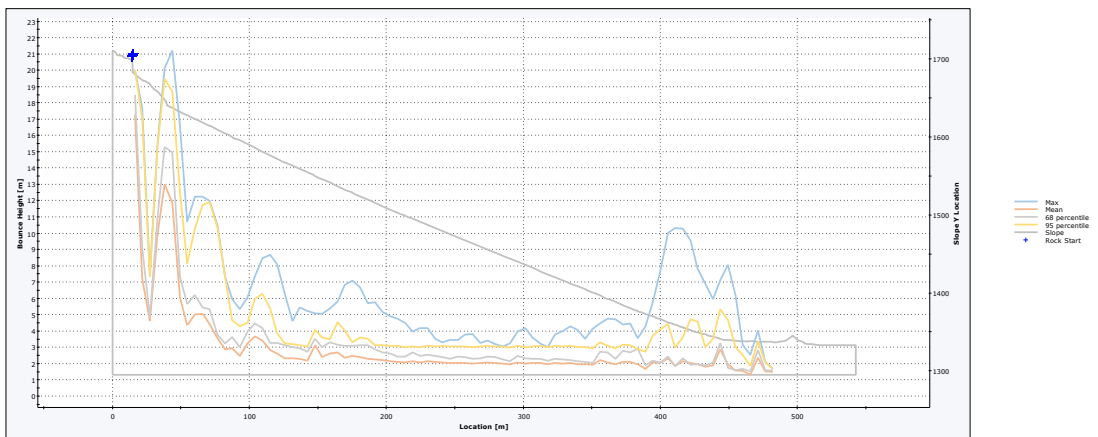
### 9.1 Combinat

Distribution of Rock Path End Locations



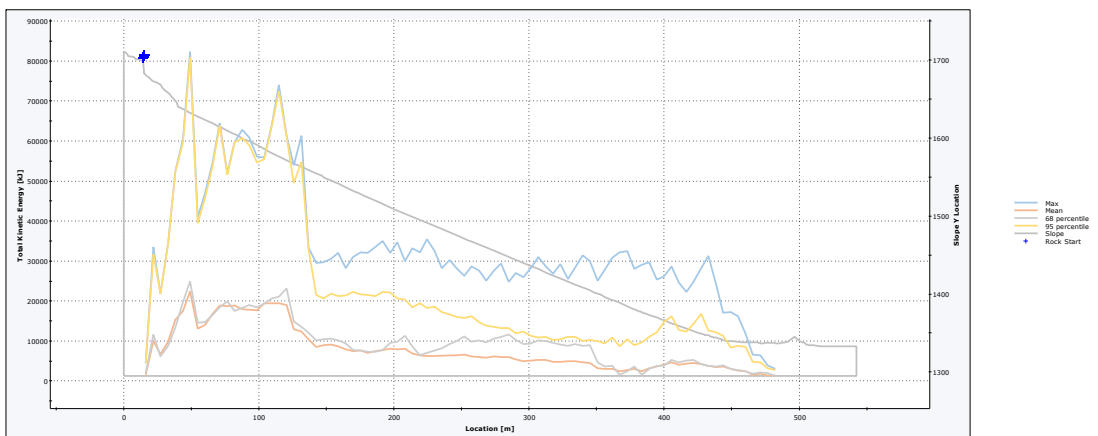
Total number of rock paths: 385

Bounce Height on Slope

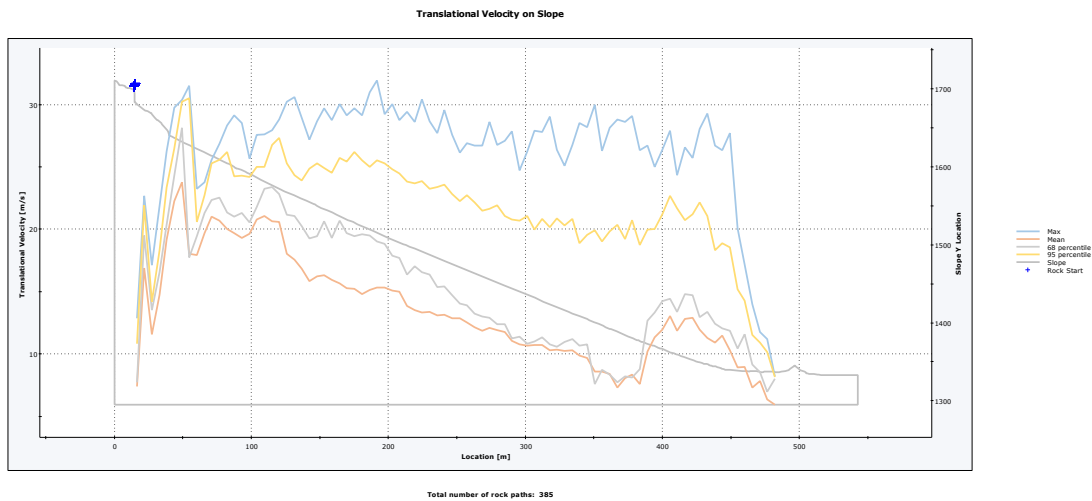


Total number of rock paths: 385

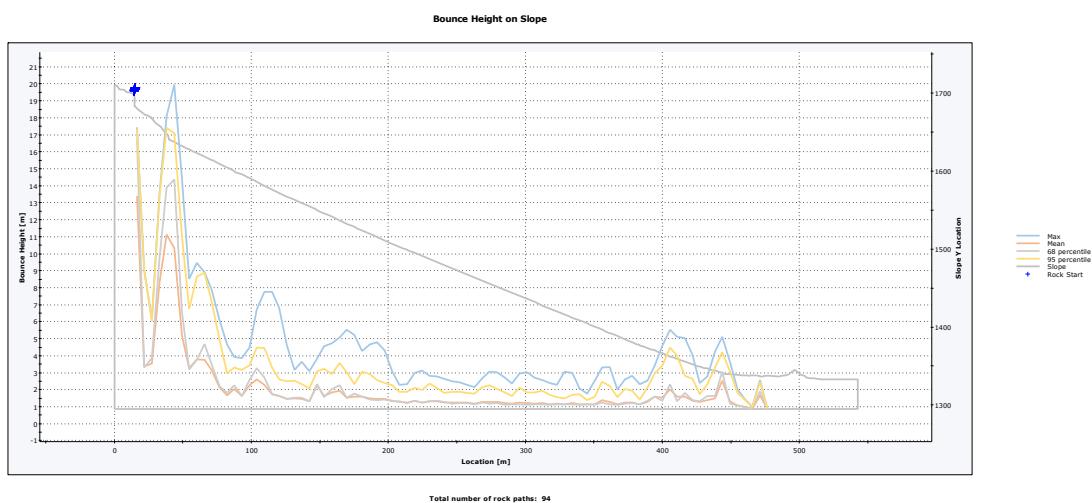
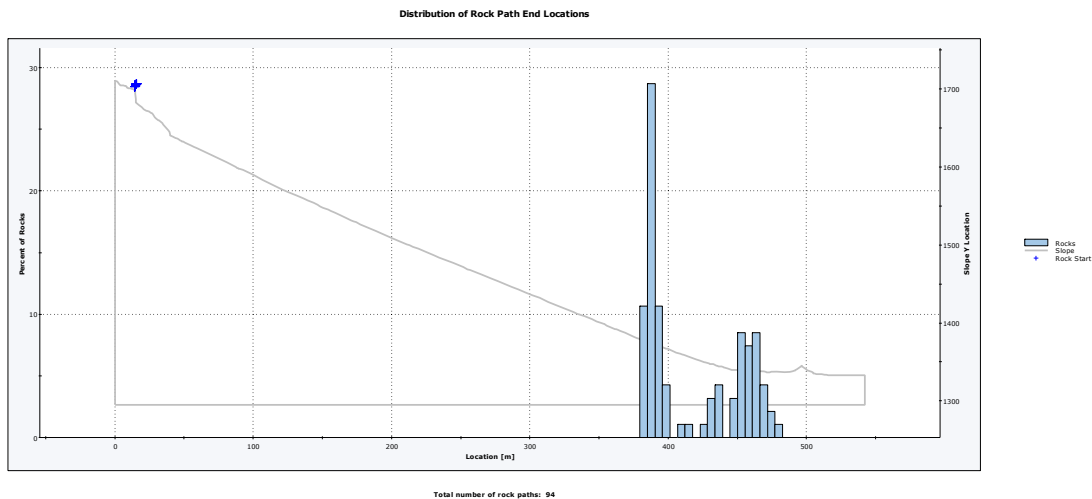
Total Kinetic Energy on Slope

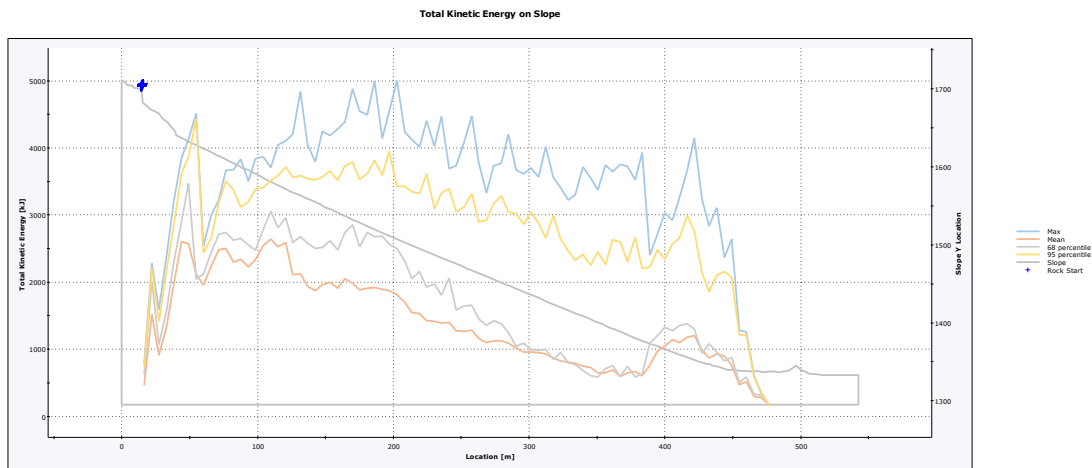


Total number of rock paths: 385

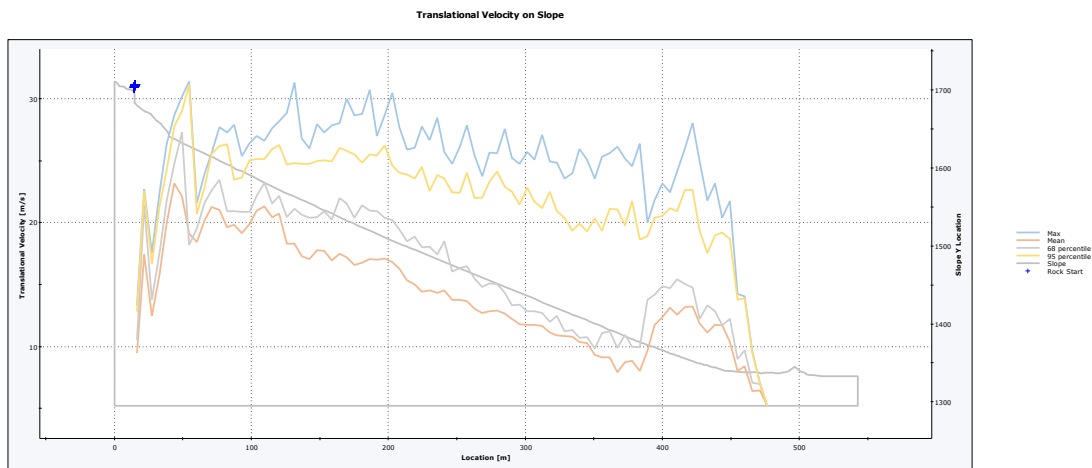


## 9.2 V 3,3 m3



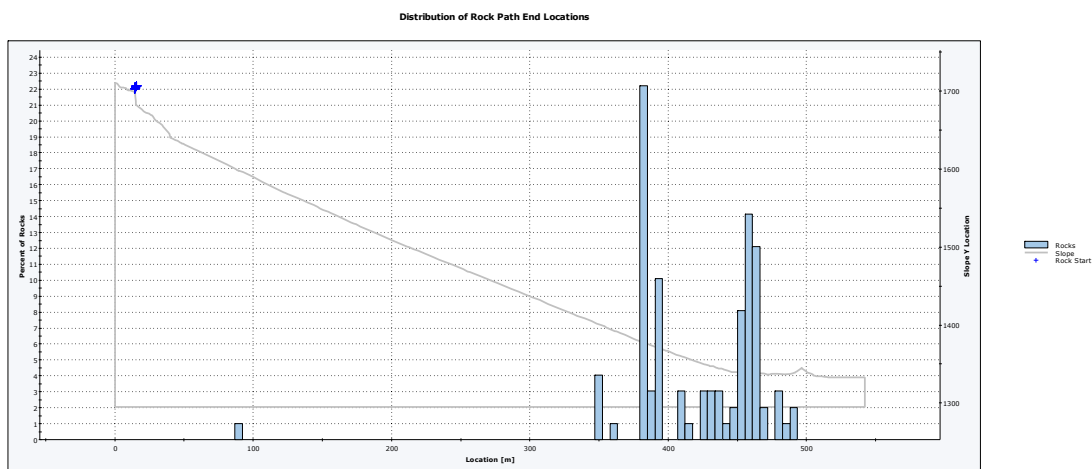


Total number of rock paths: 94



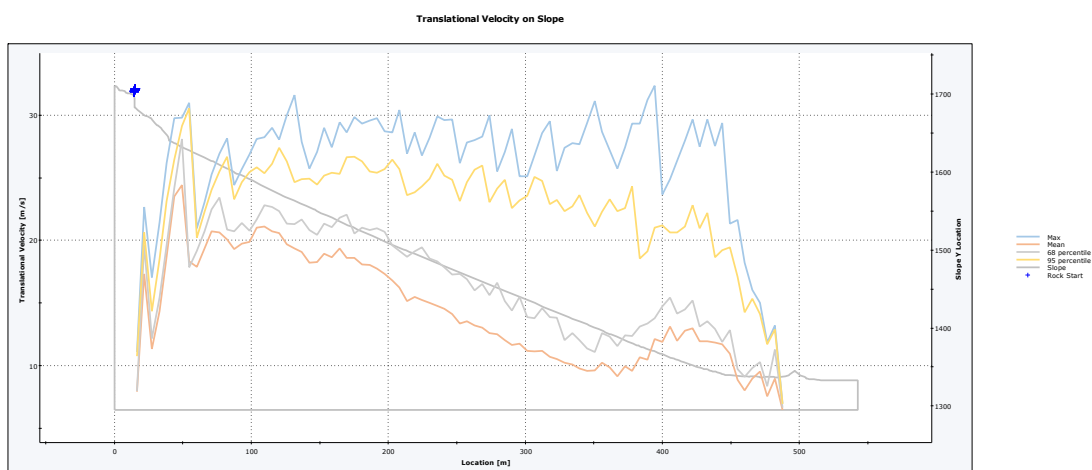
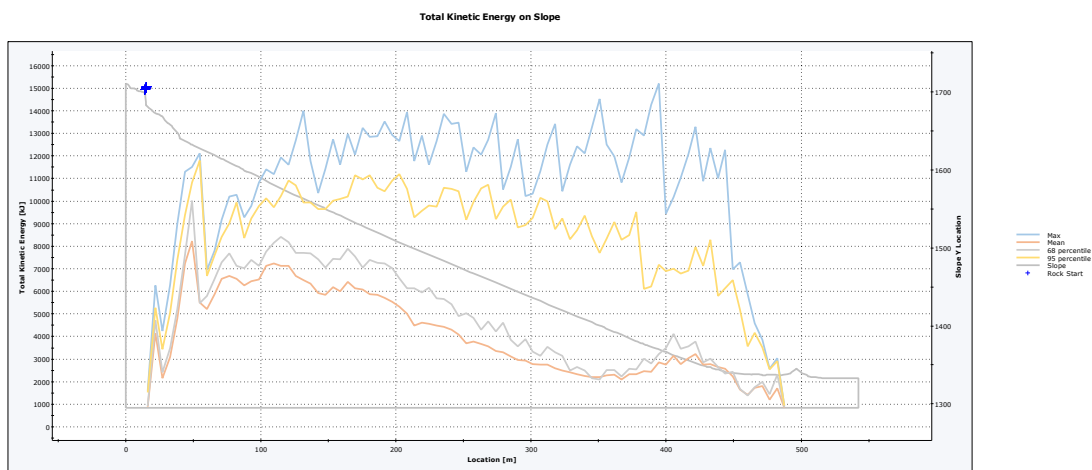
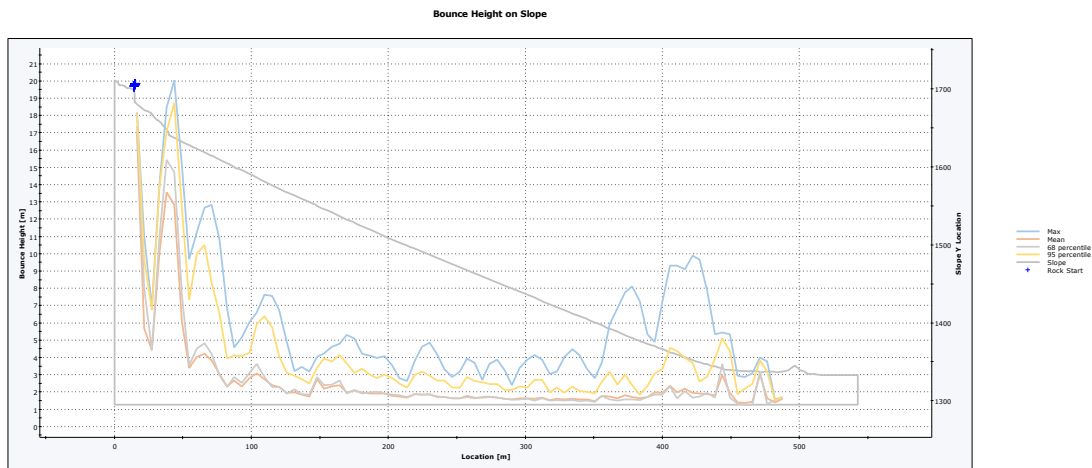
Total number of rock paths: 94

### 9.3 V 9,0 m3

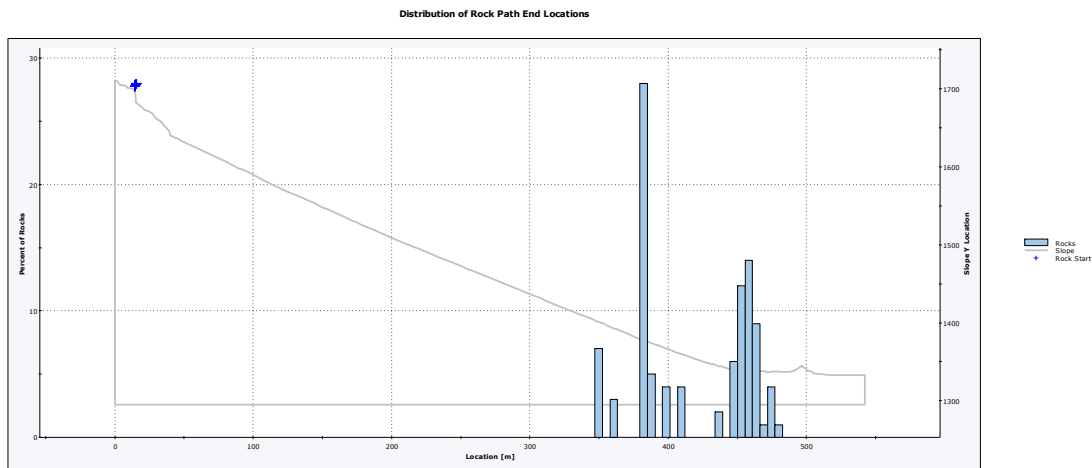


Total number of rock paths: 99

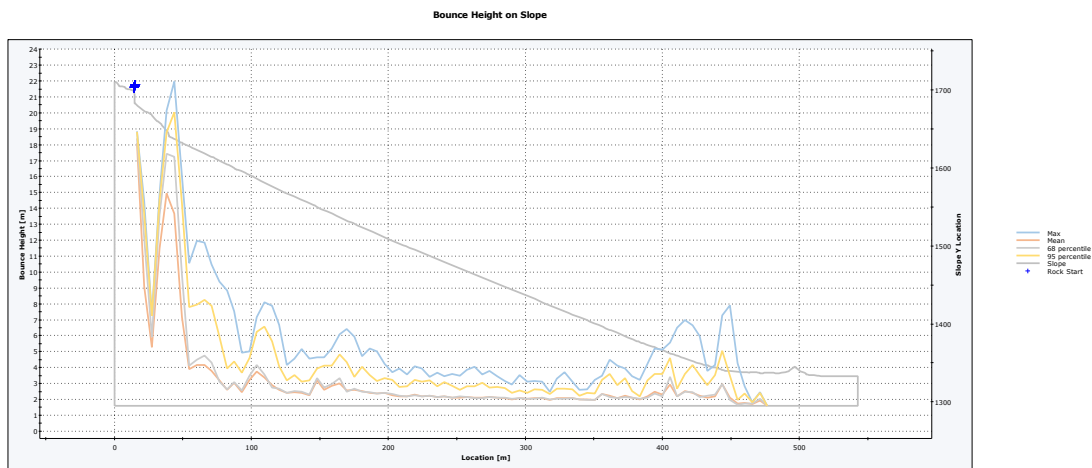




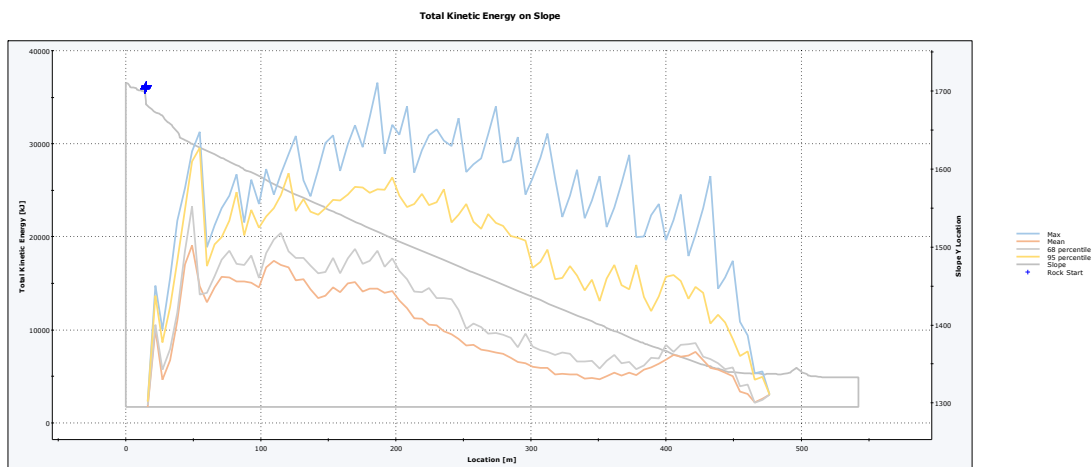
#### 9.4 V 22,5 m3



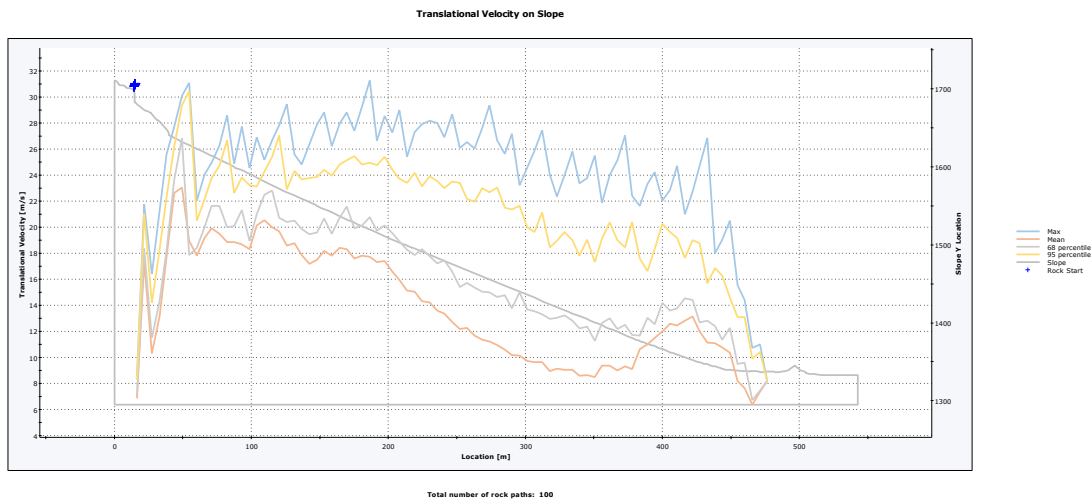
Total number of rock paths: 100



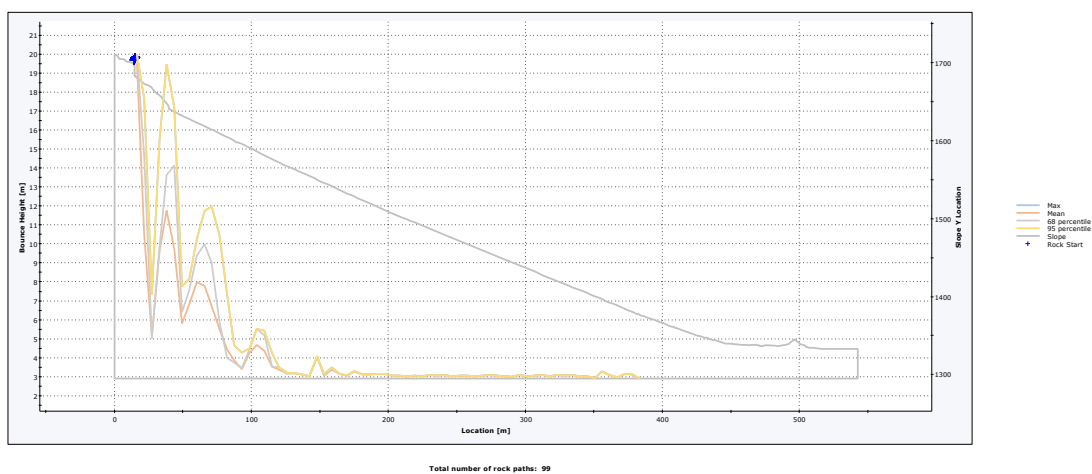
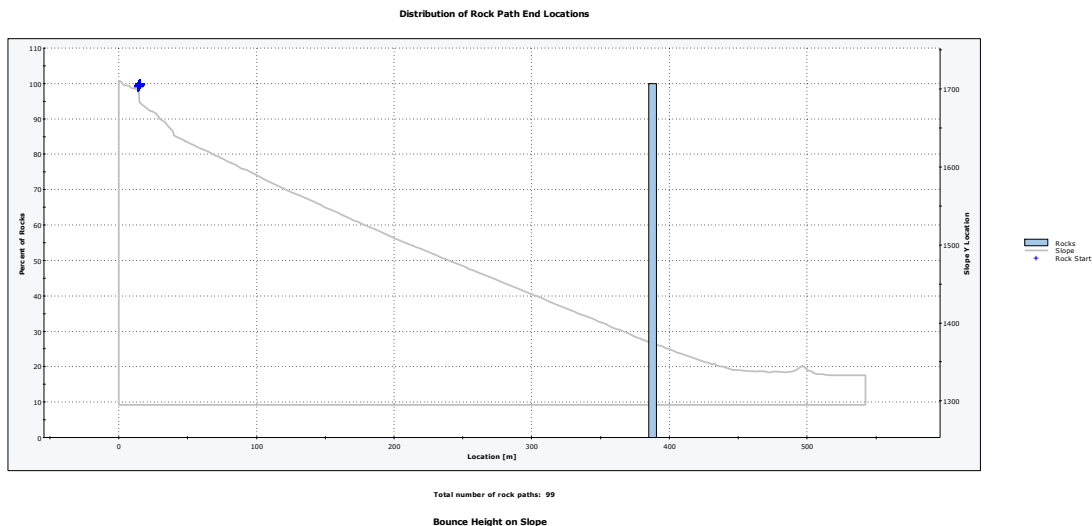
Total number of rock paths: 100

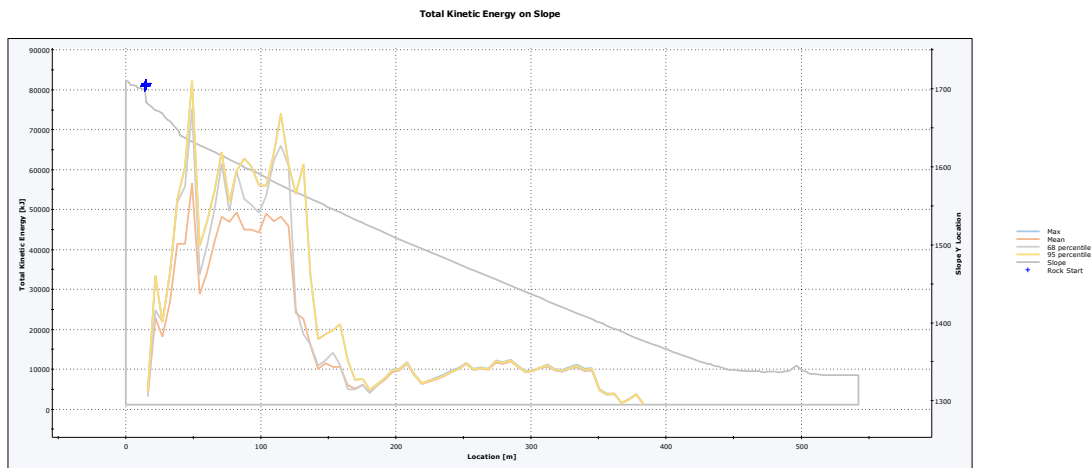


Total number of rock paths: 100

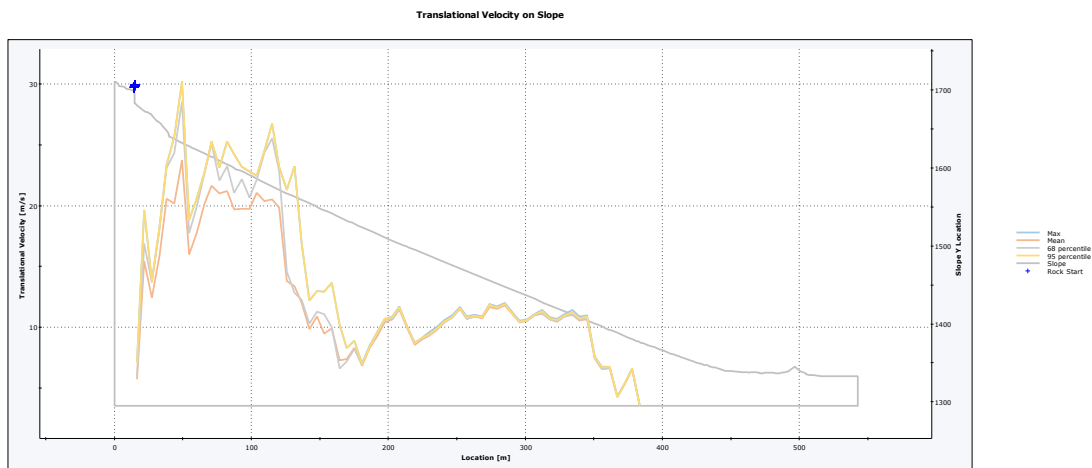


### 9.5 V 61,0 m3





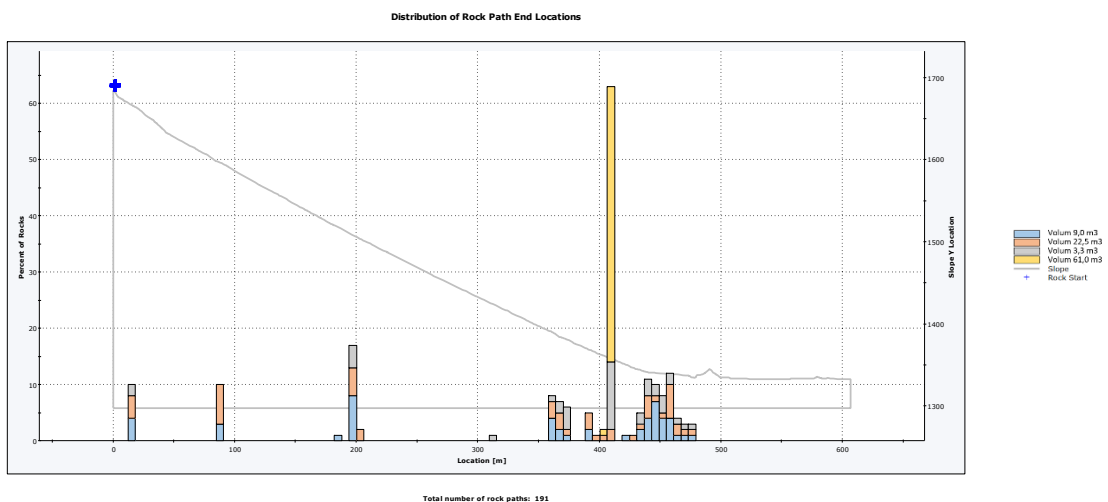
Total number of rock paths: 99



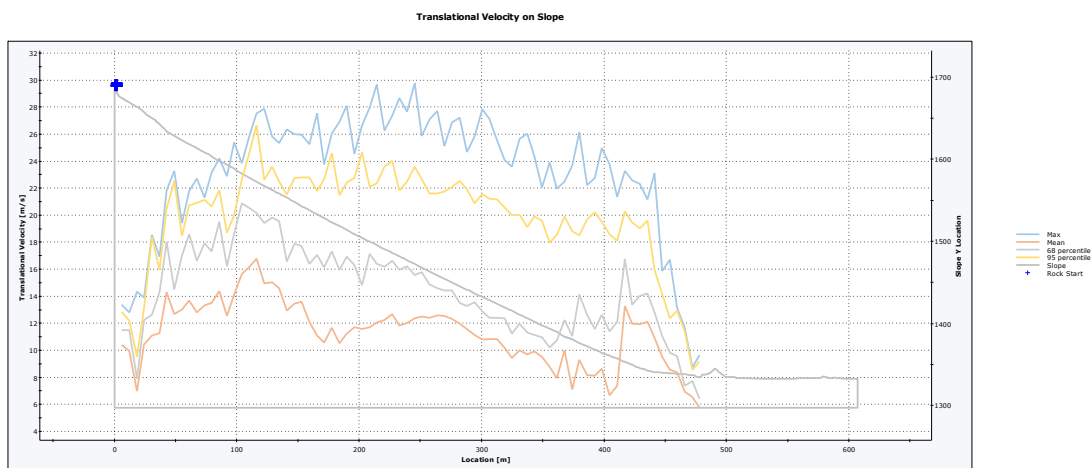
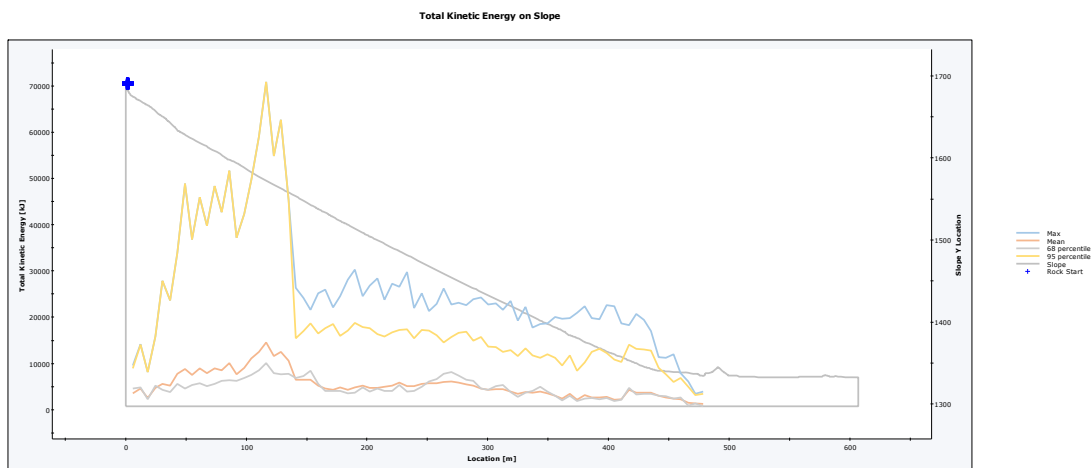
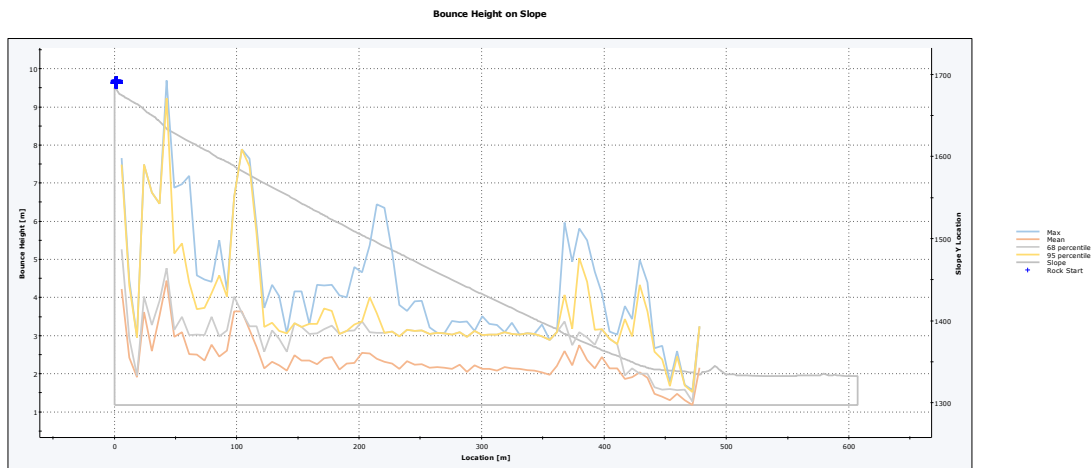
Total number of rock paths: 99

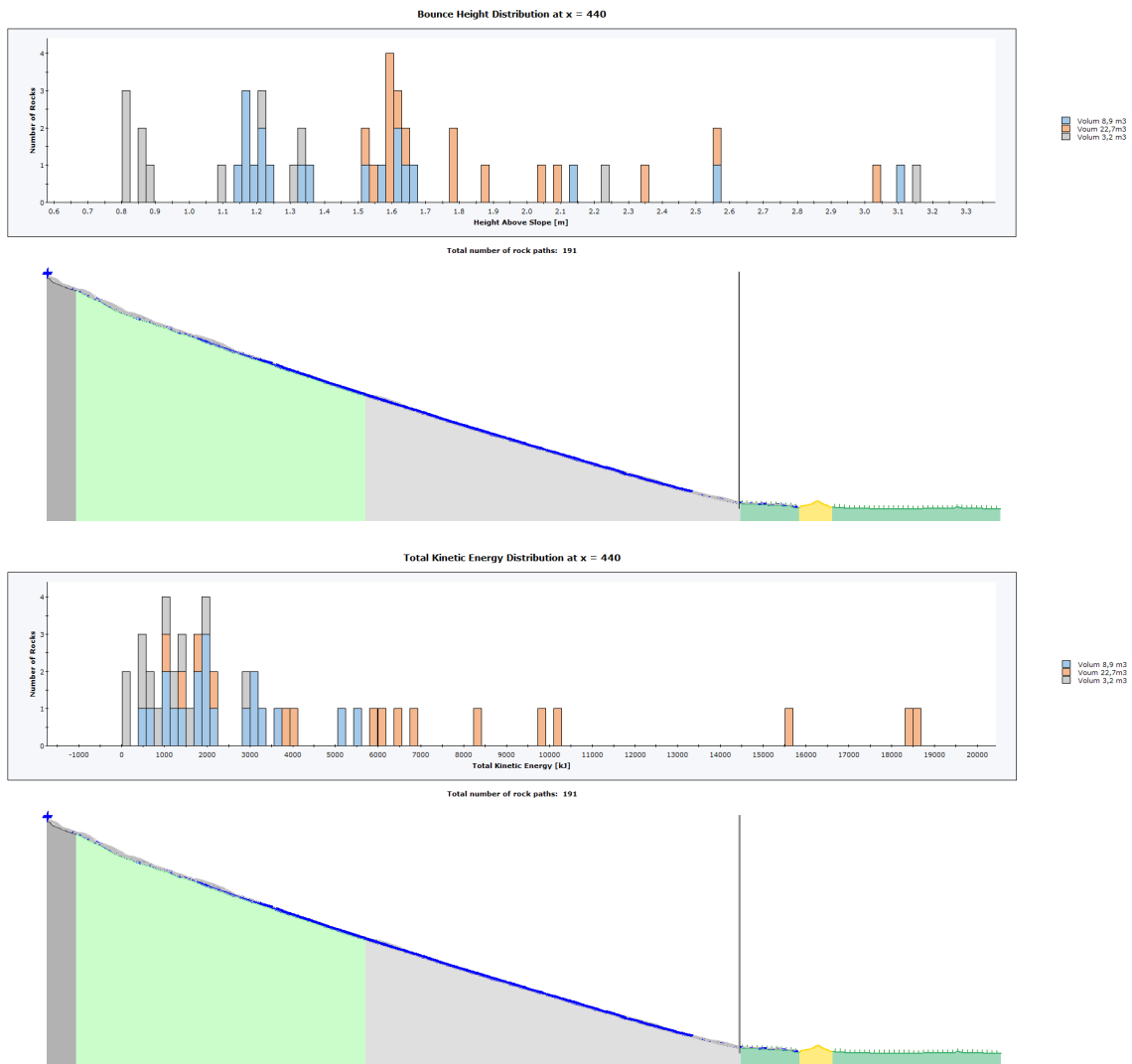
## 10 PERFIL 10

### 10.1 Combinat

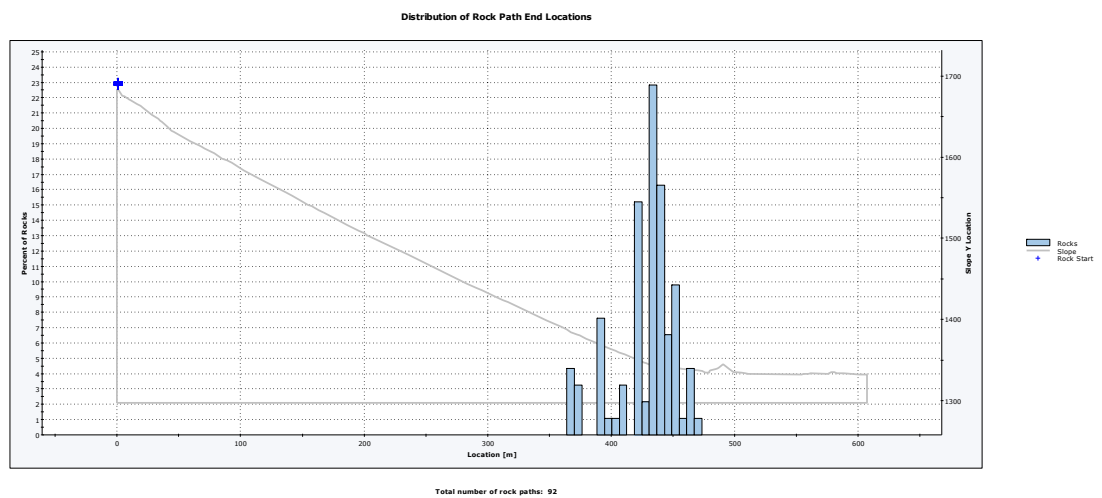


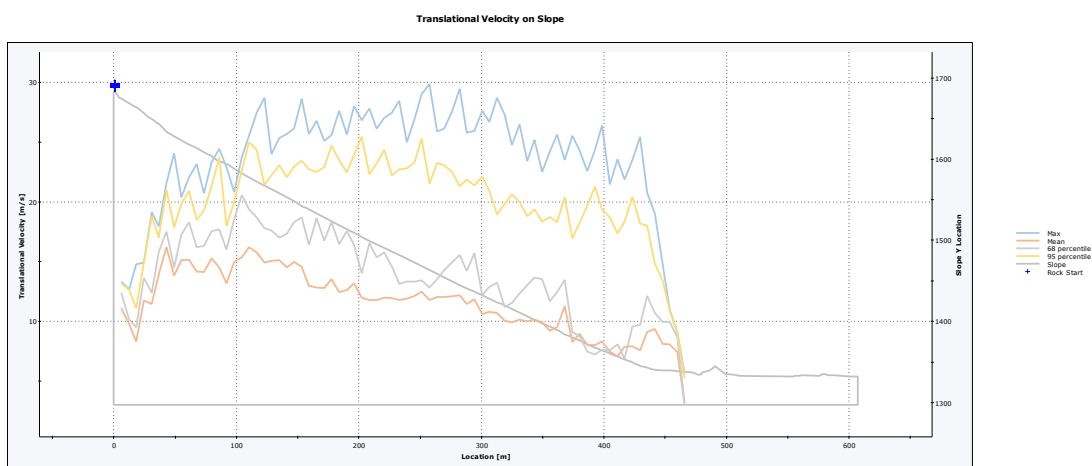
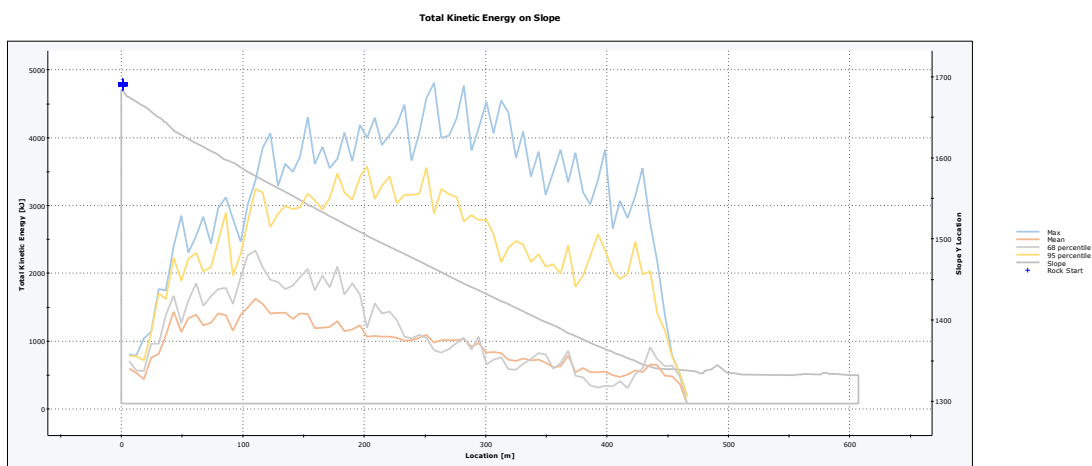
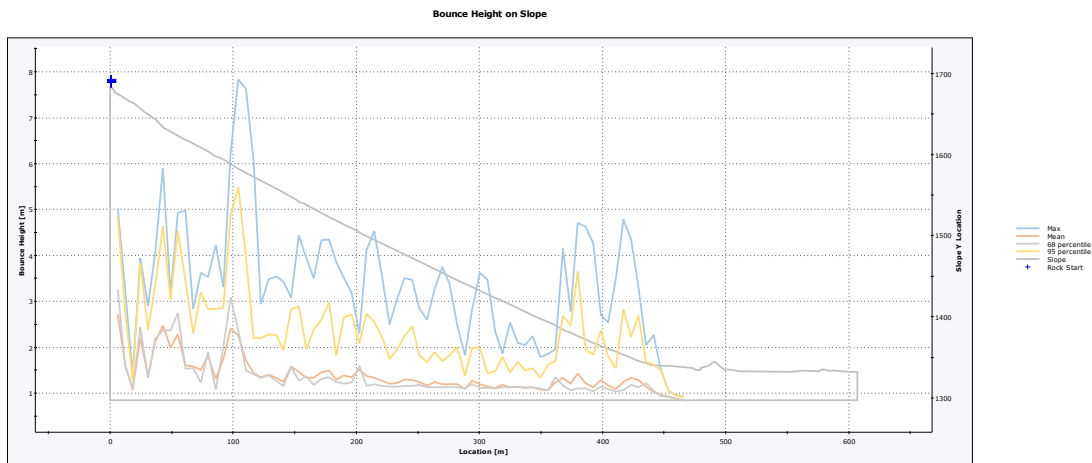
Total number of rock paths: 191



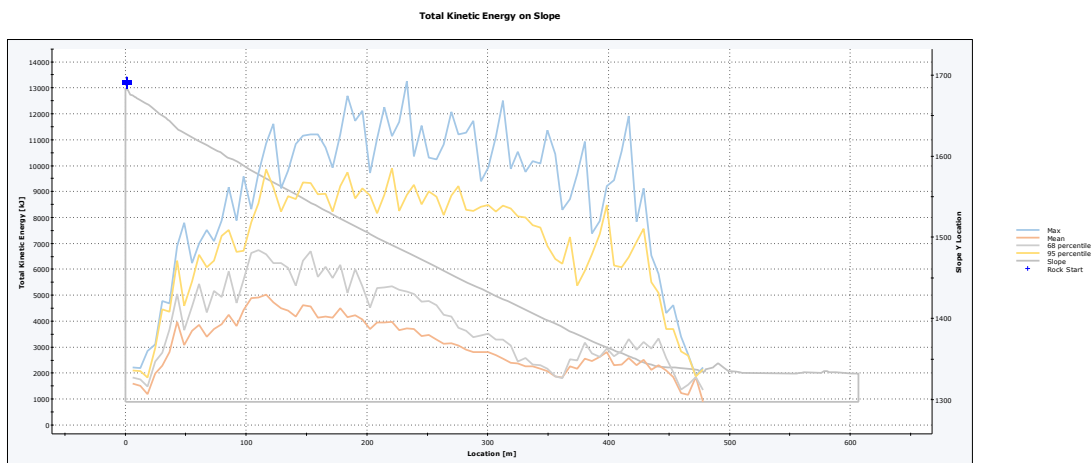
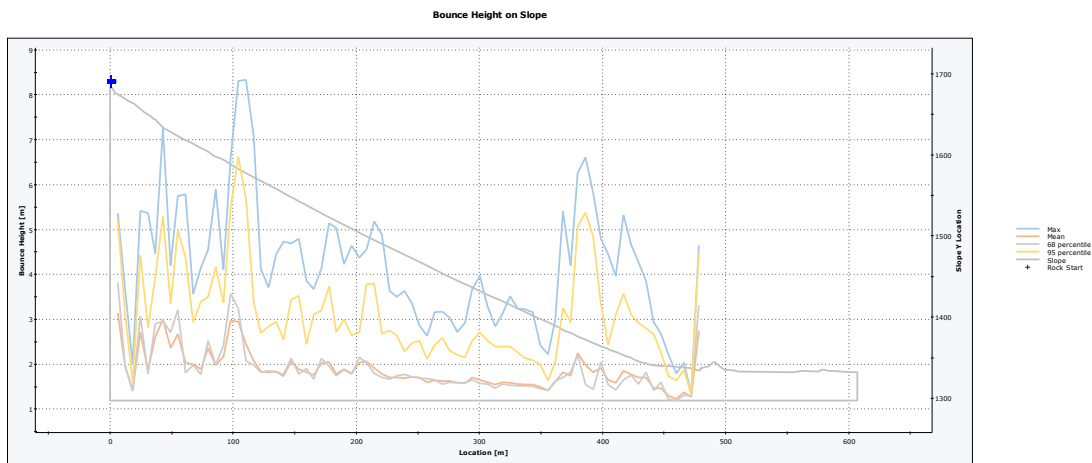
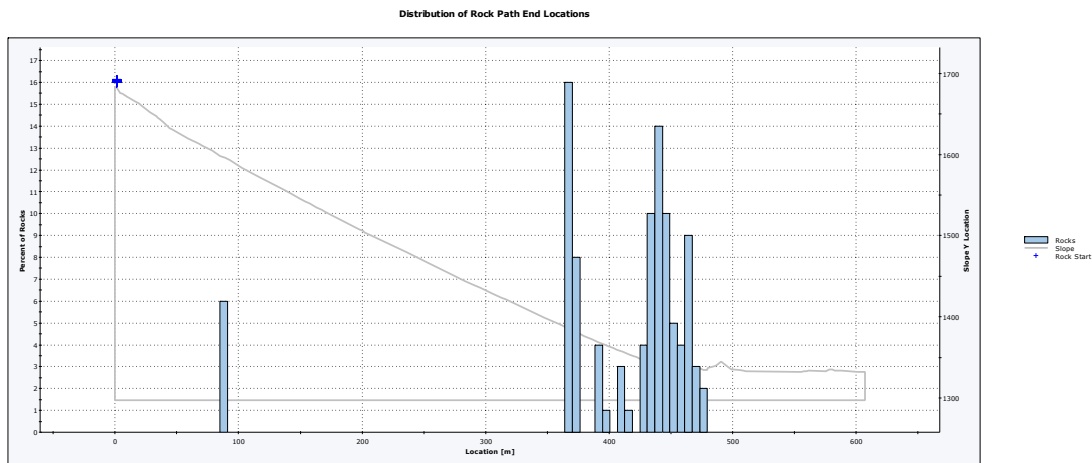


## 10.2 V 3,3 m3

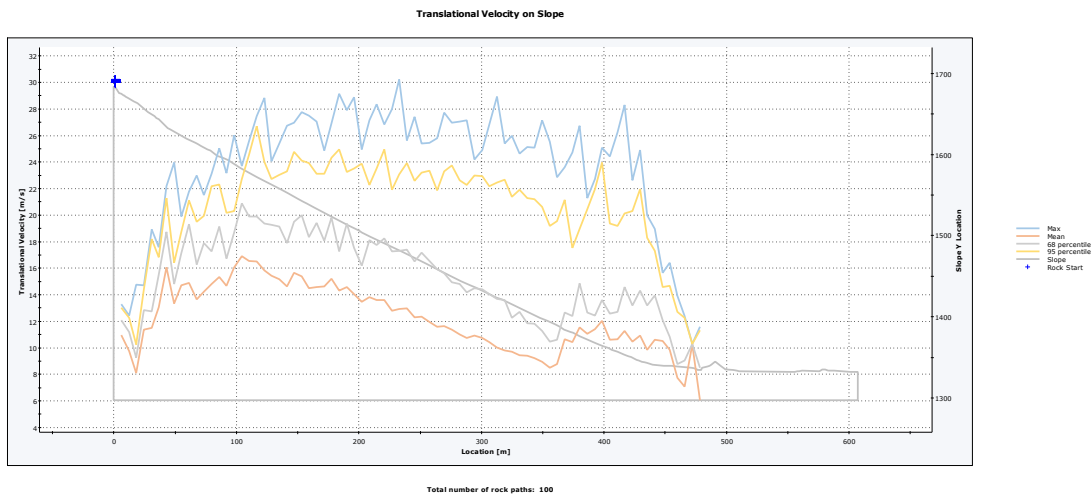




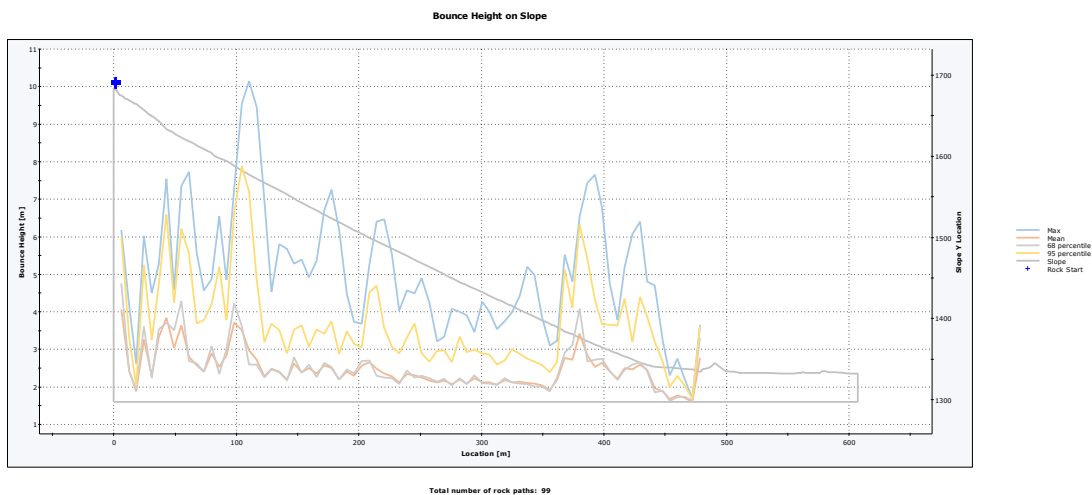
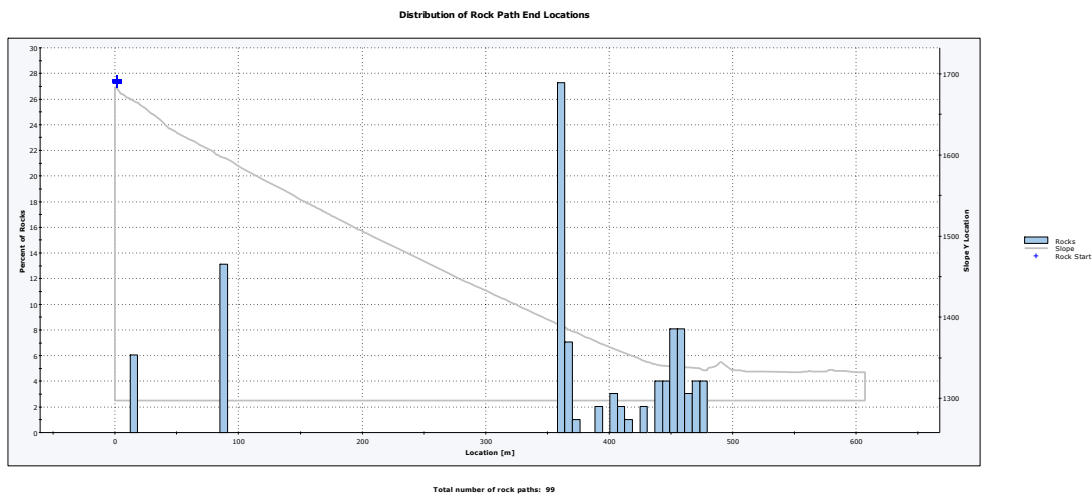
### 10.3 V 9,0 m3

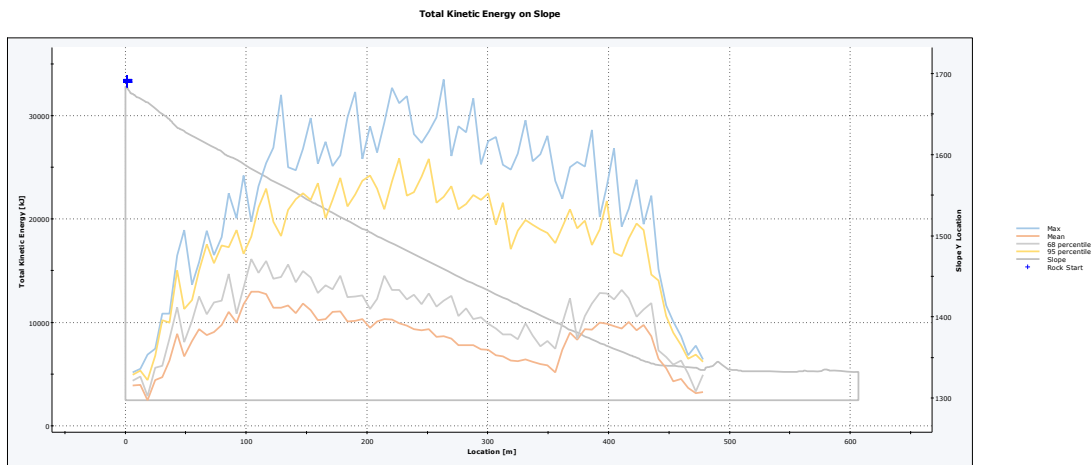




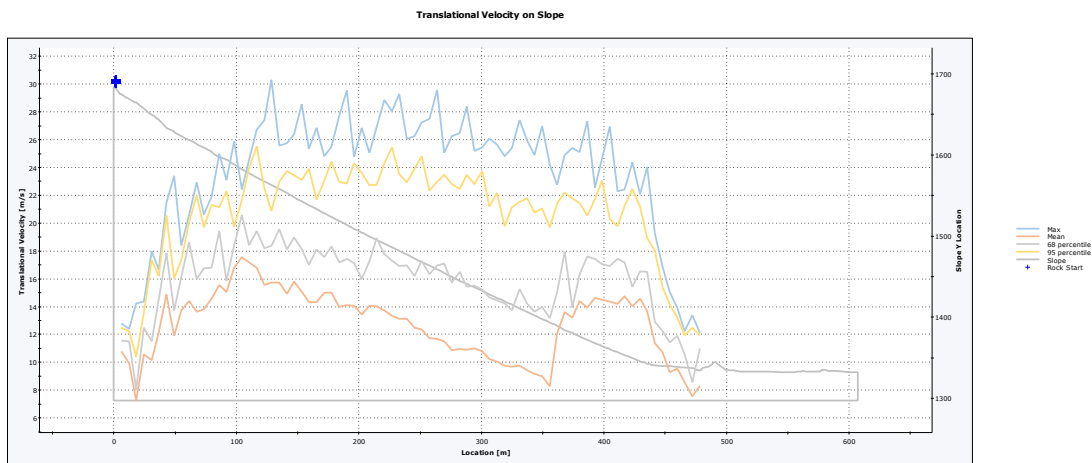


### 10.4 V 22,5 m3



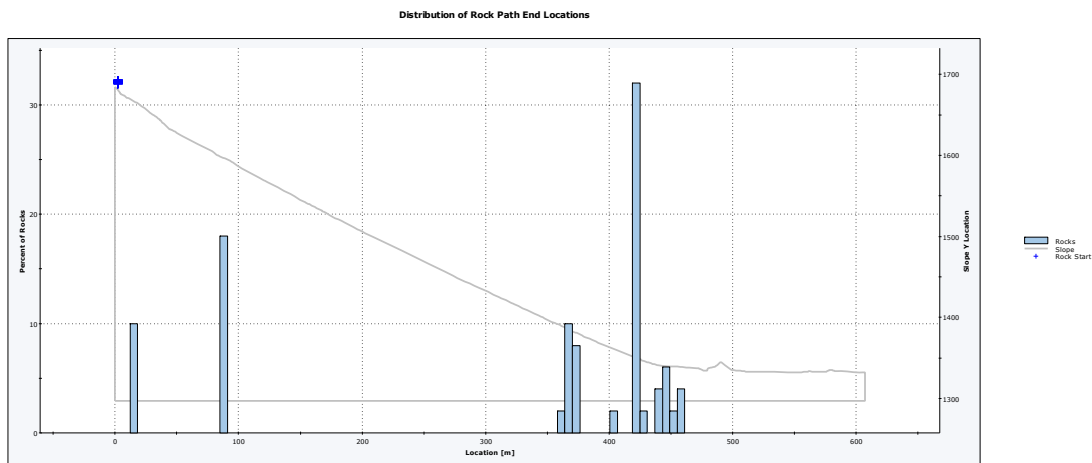


Total number of rock paths: 99

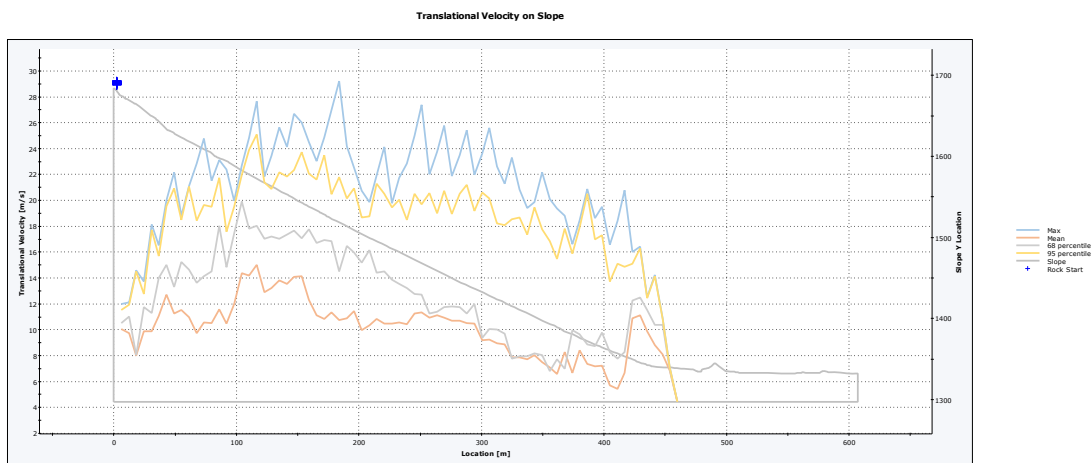
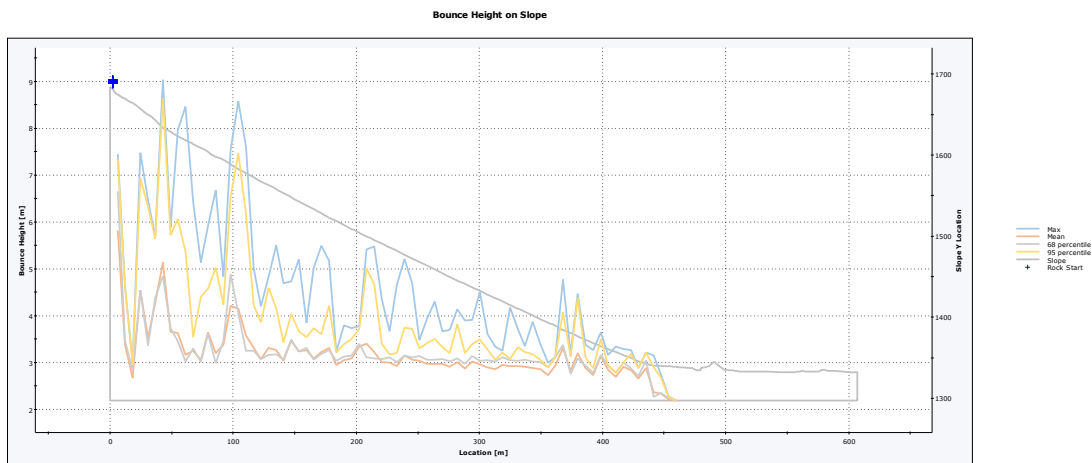
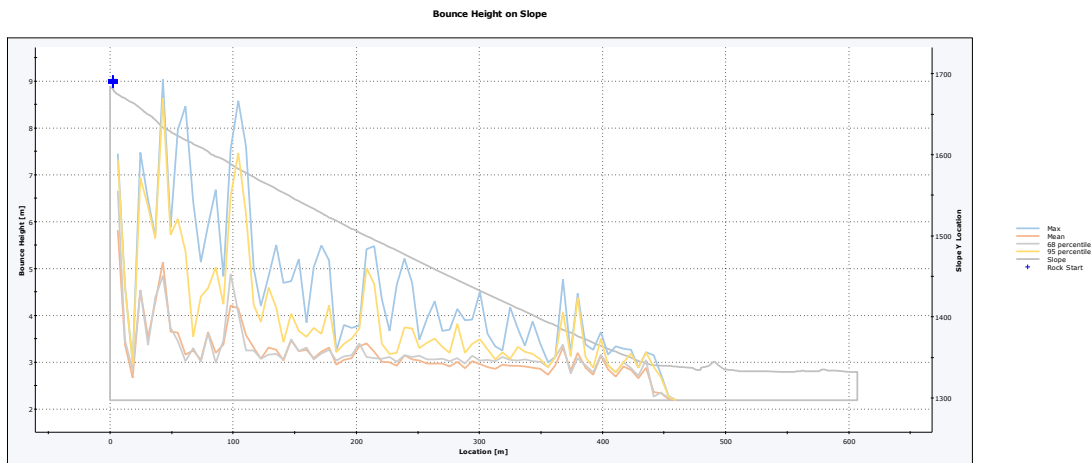


Total number of rock paths: 99

### 10.5 V 61,0 m3

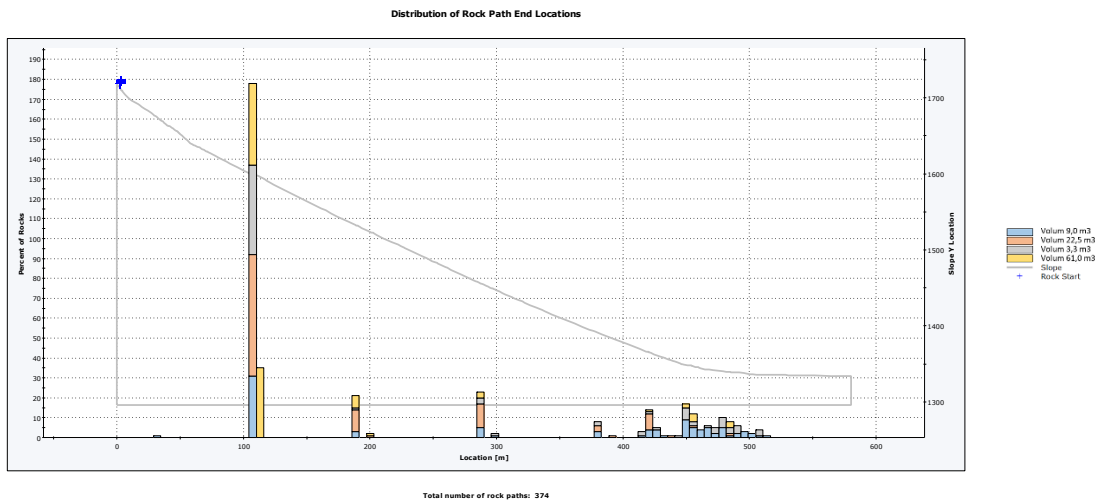


Total number of rock paths: 50

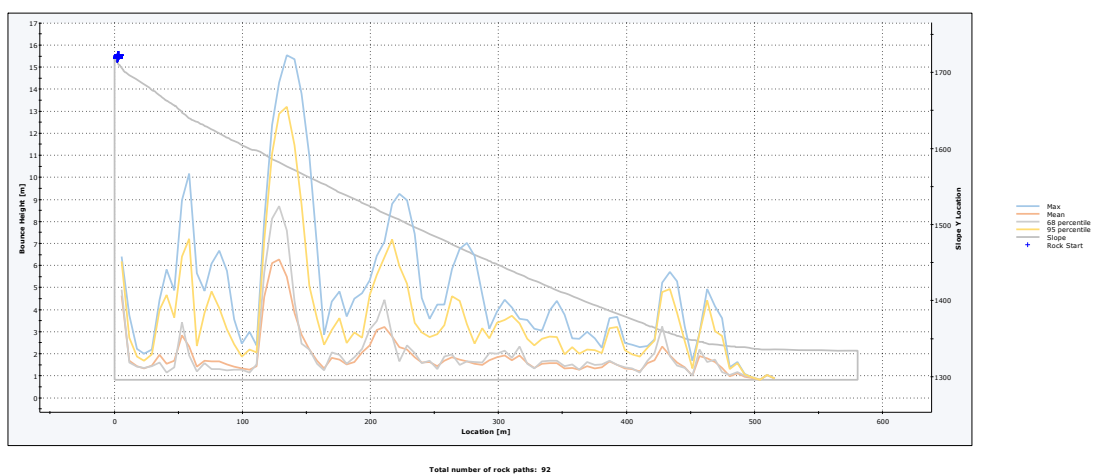
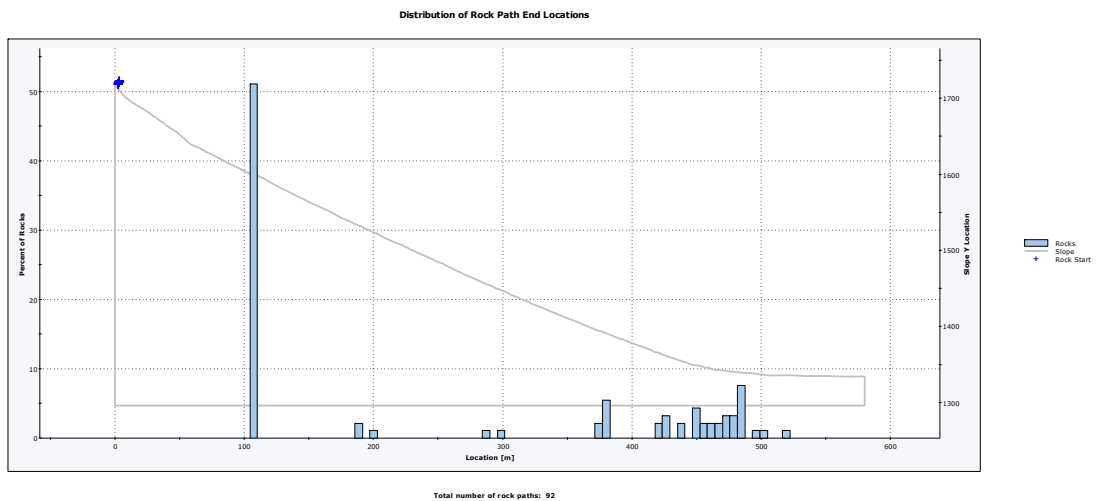


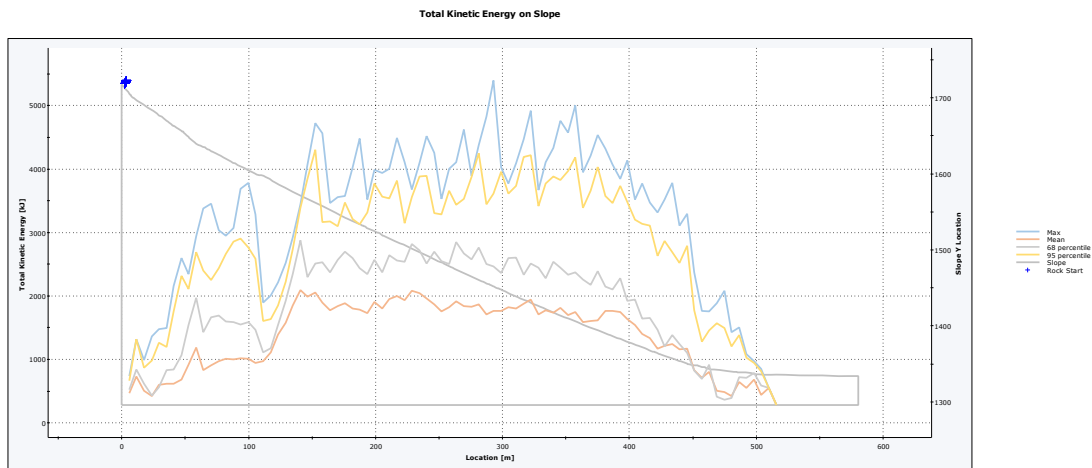
## 11 PERFIL 11

### 11.1 Combinat

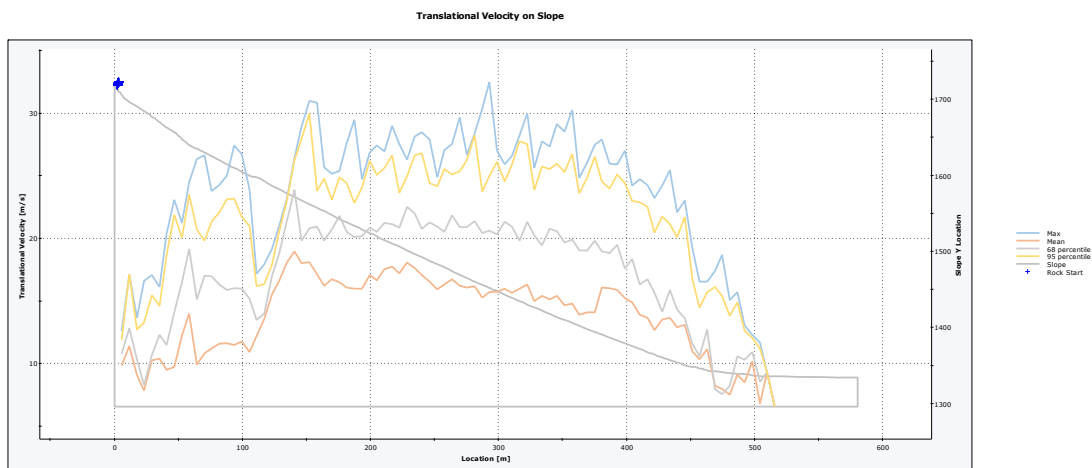


### 11.2 V 3,3 m3



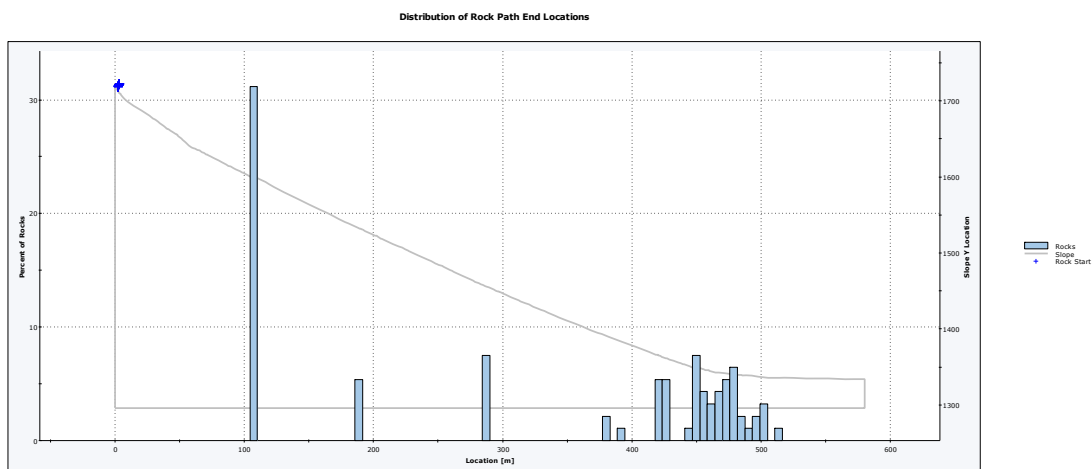


Total number of rock paths: 92

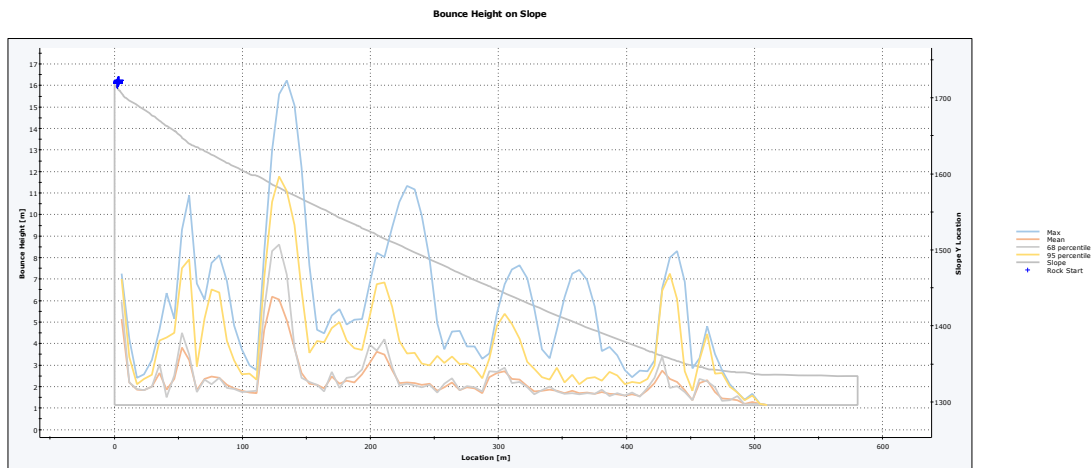


Total number of rock paths: 92

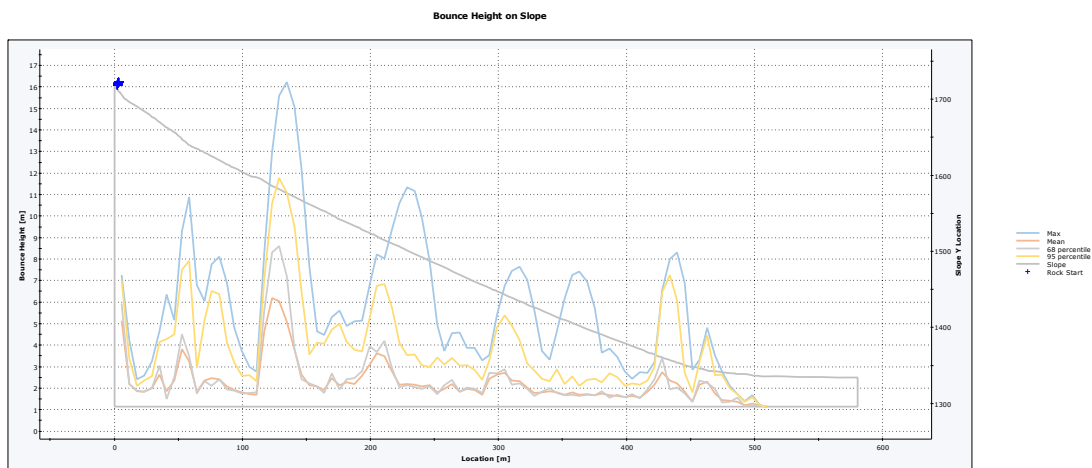
### 11.3 V 9,0 m3



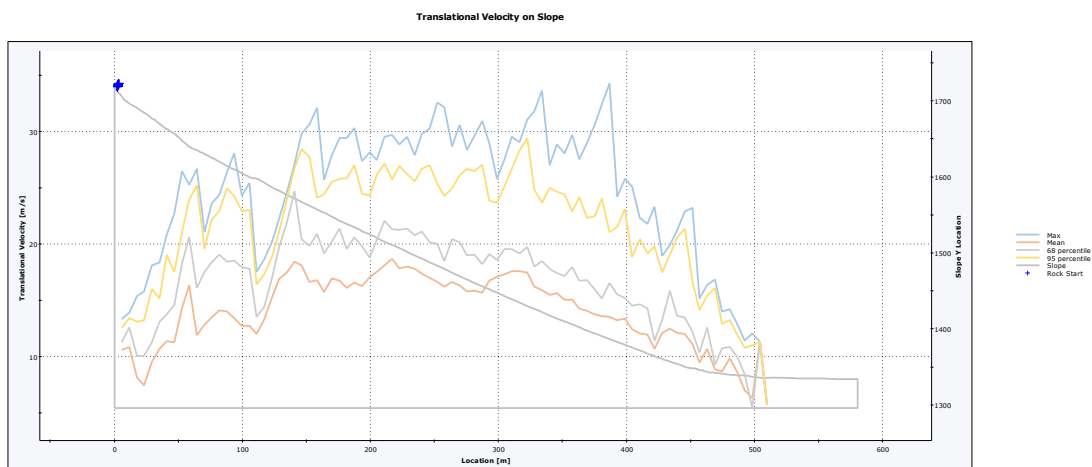
Total number of rock paths: 93



Total number of rock paths: 93



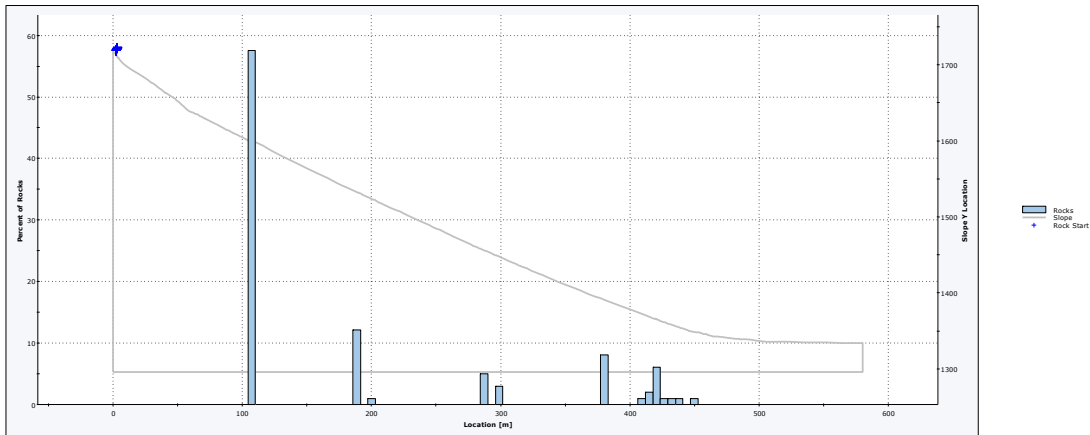
Total number of rock paths: 93



Total number of rock paths: 93

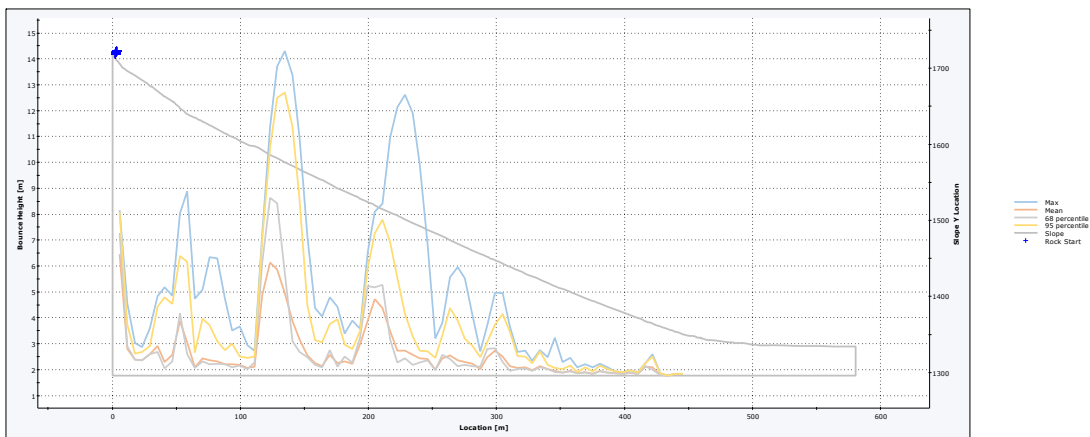
**11.4 V 22,5 m3**

Distribution of Rock Path End Locations



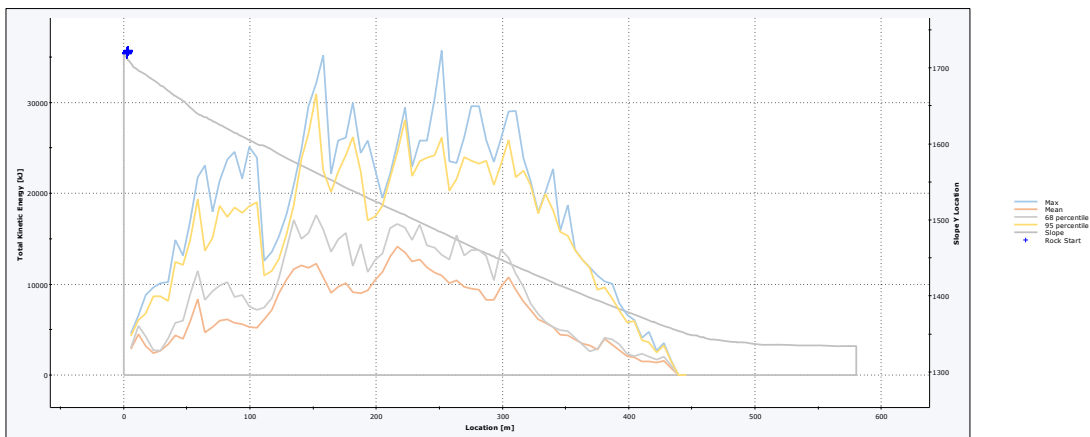
Total number of rock paths: 99

Bounce Height on Slope

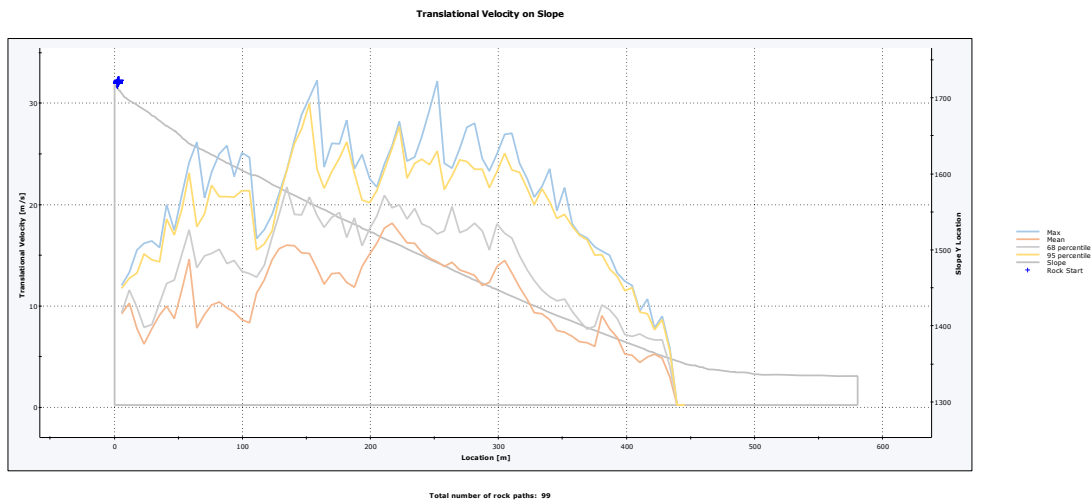


Total number of rock paths: 99

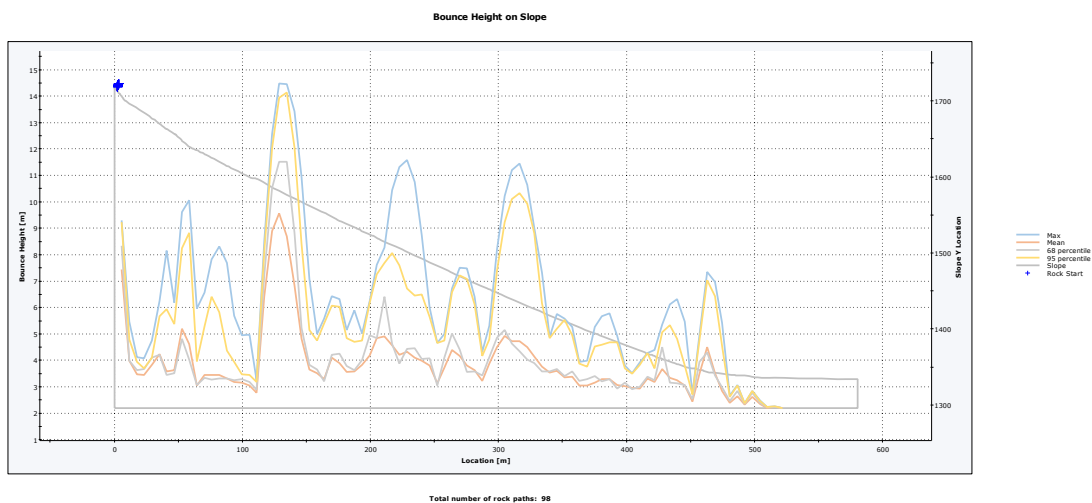
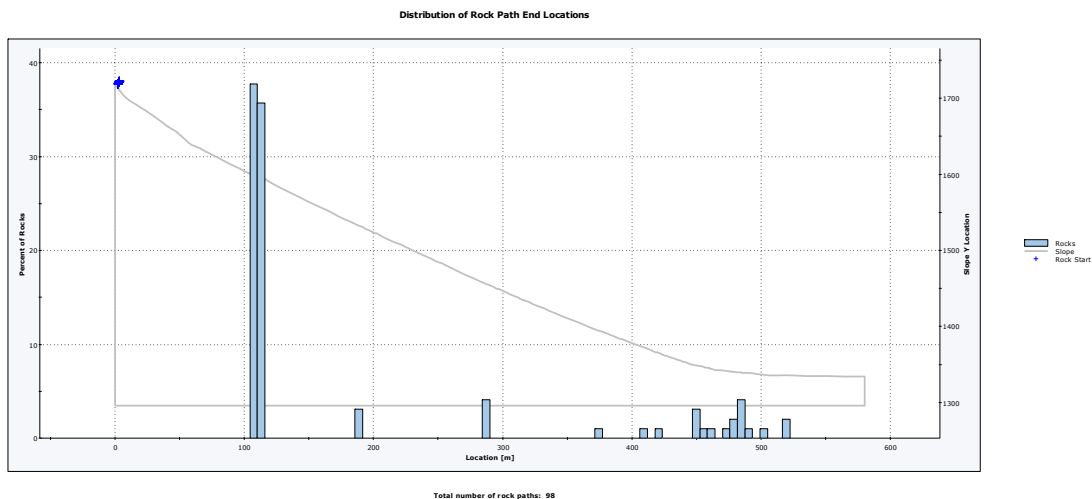
Total Kinetic Energy on Slope



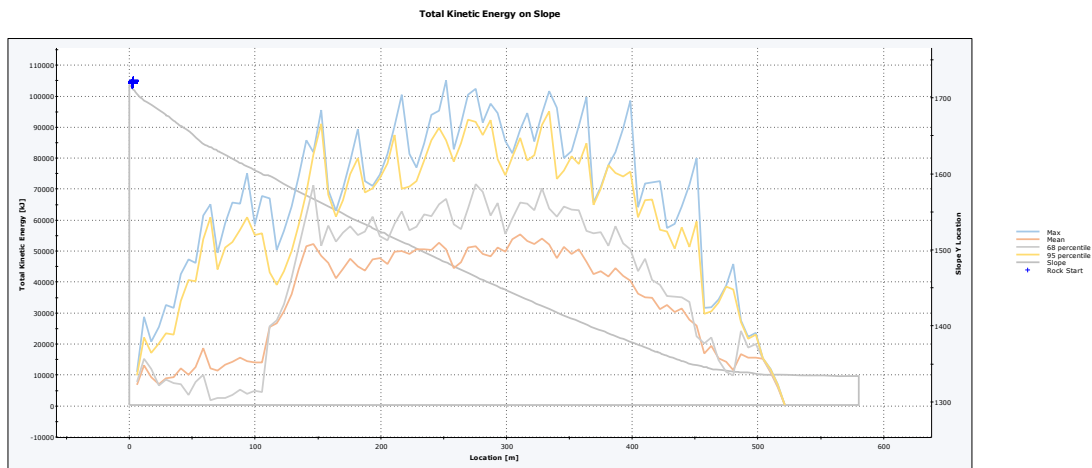
Total number of rock paths: 99



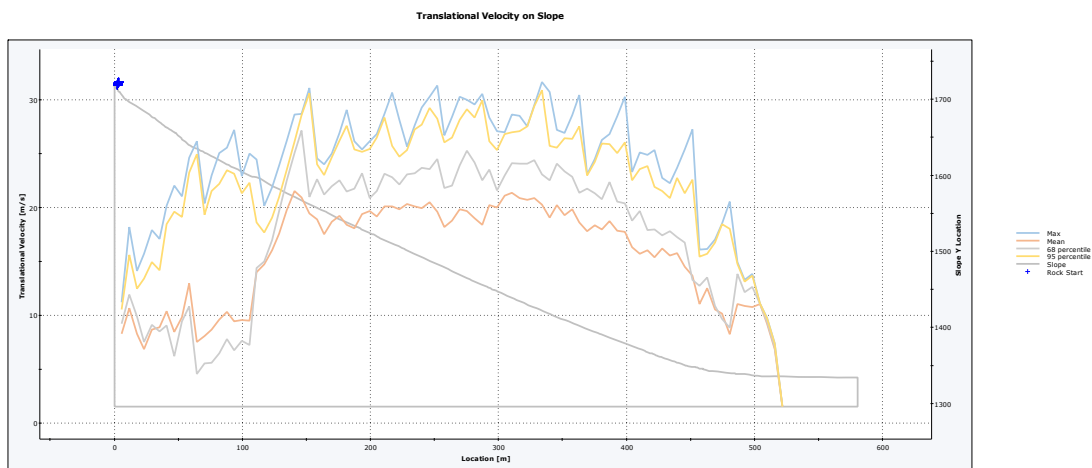
### 11.5 V 61,0 m3







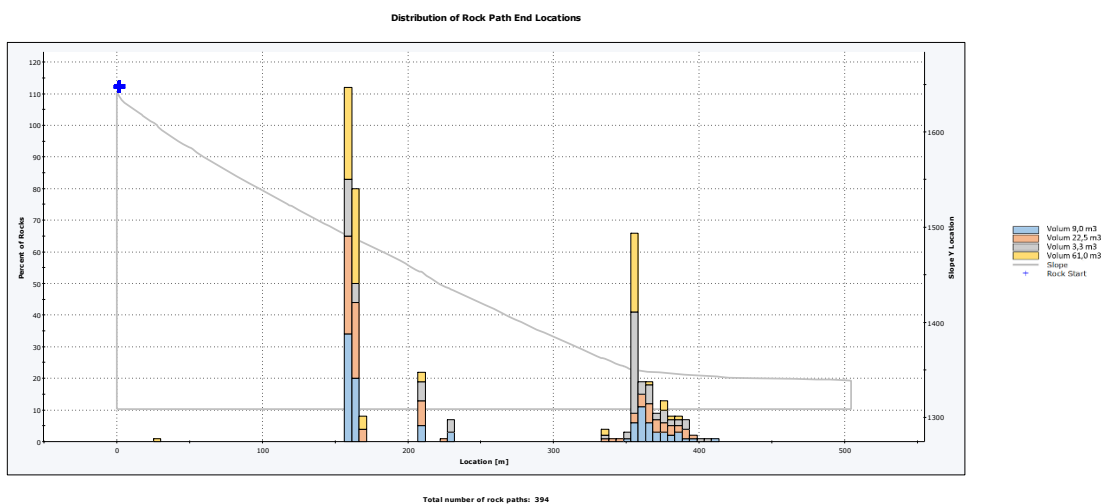
Total number of rock paths: 98



Total number of rock paths: 98

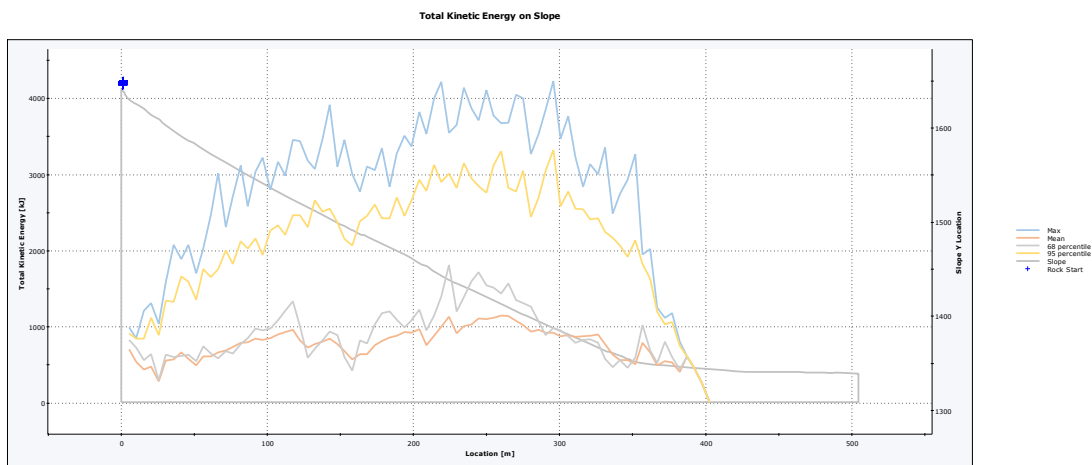
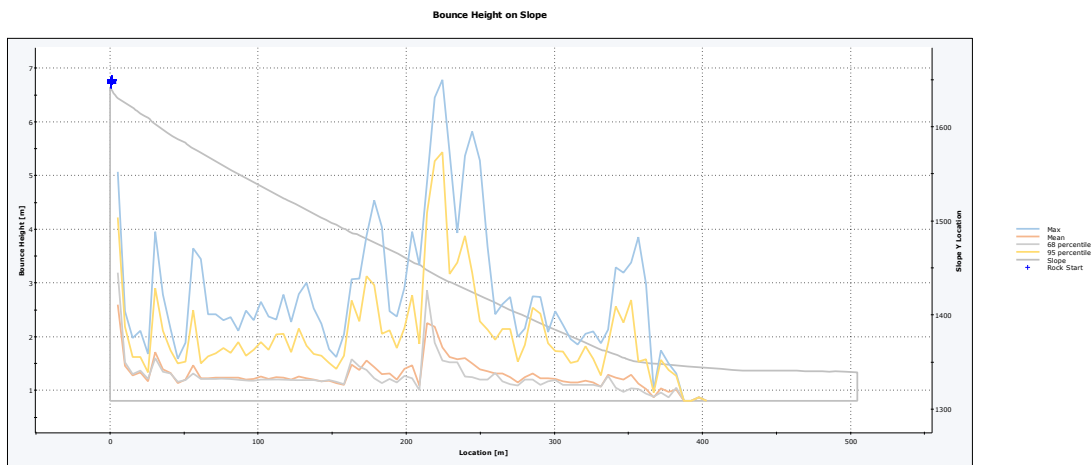
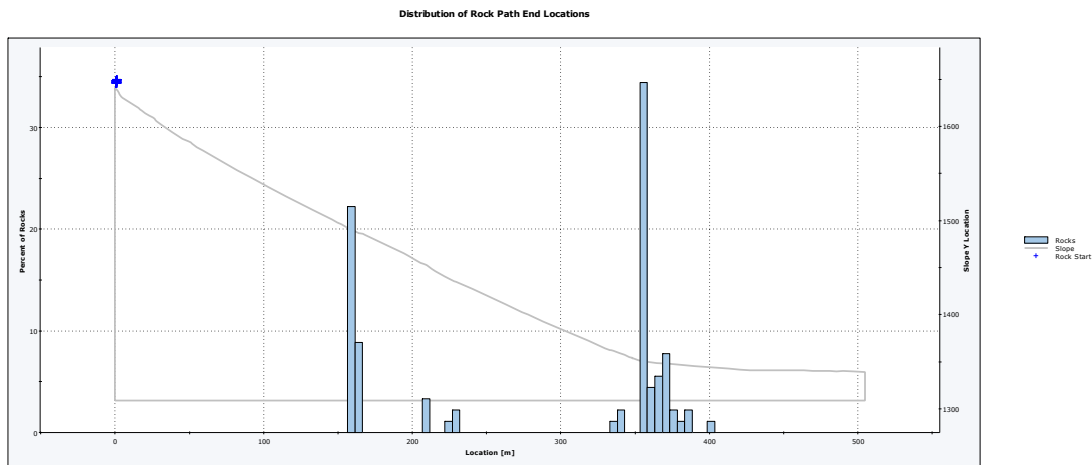
## 12 PERFIL 12

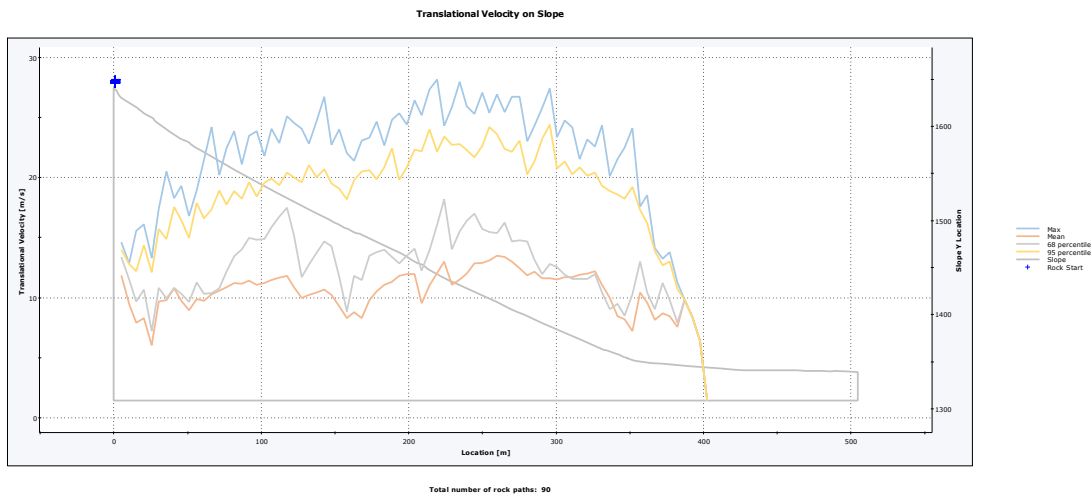
### 12.1 Combinats



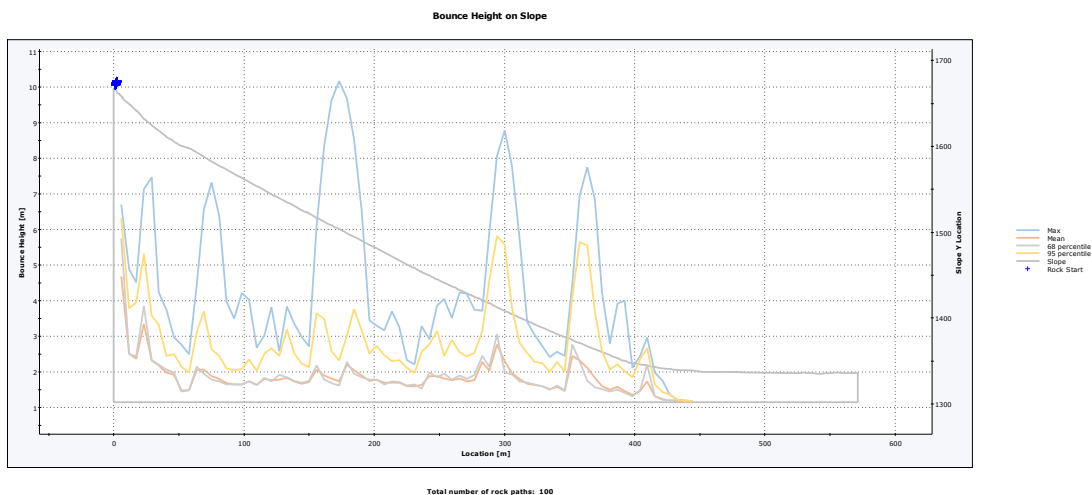
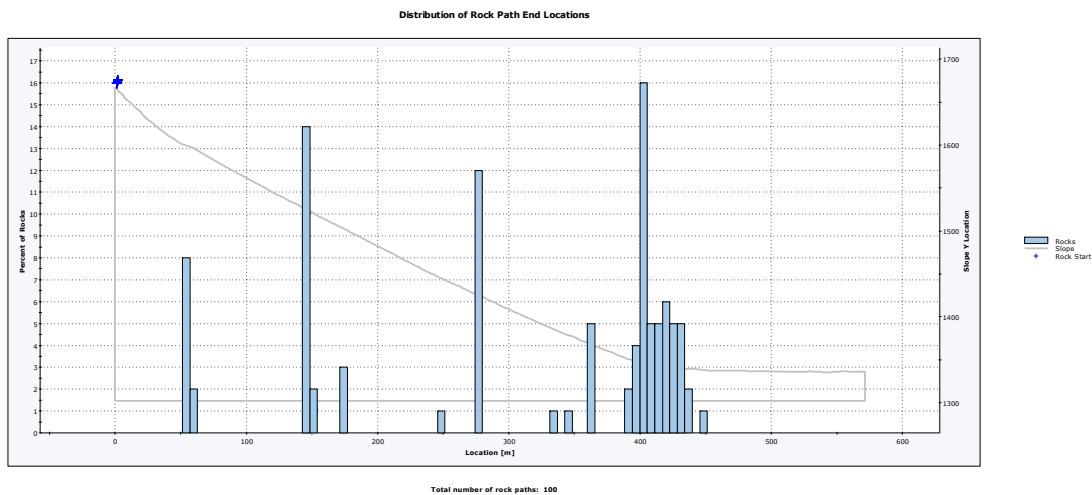
Total number of rock paths: 394

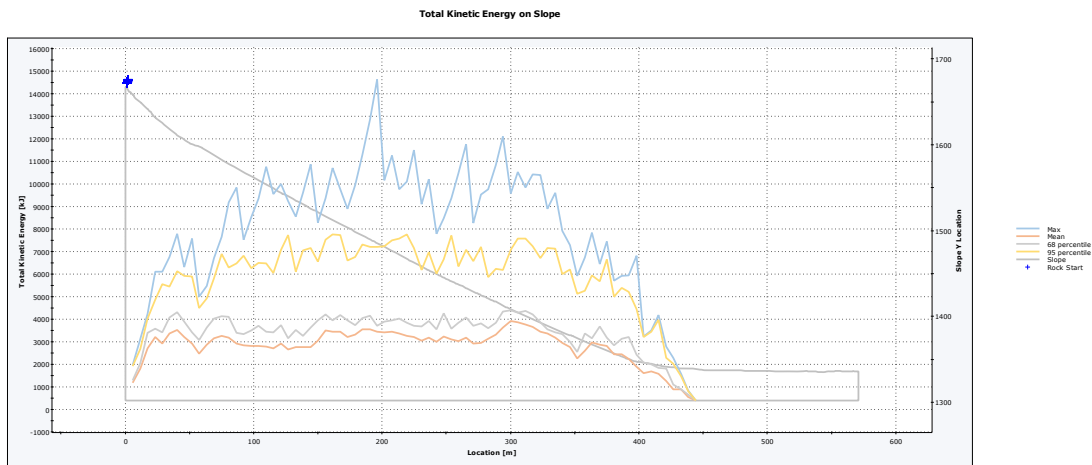
### 12.2 V 3,3 m3



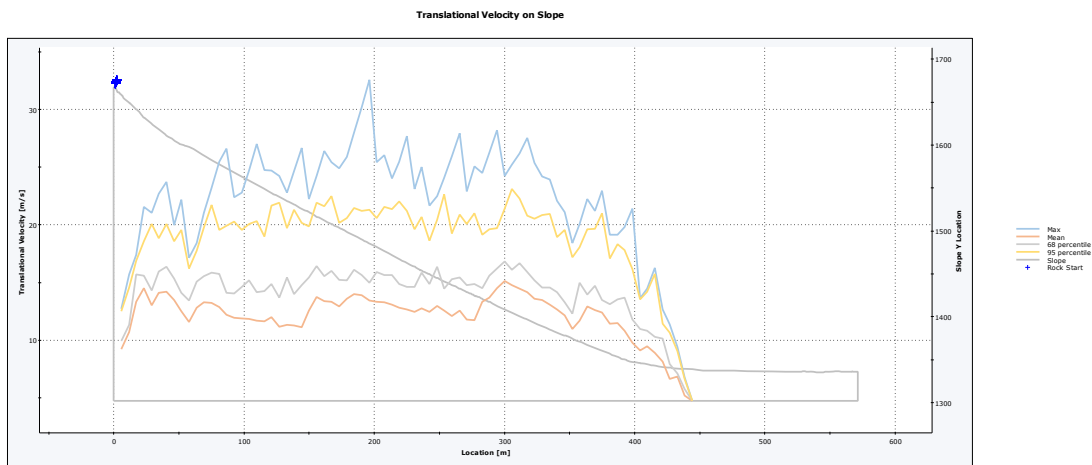


### 12.3 V 9,0 m3



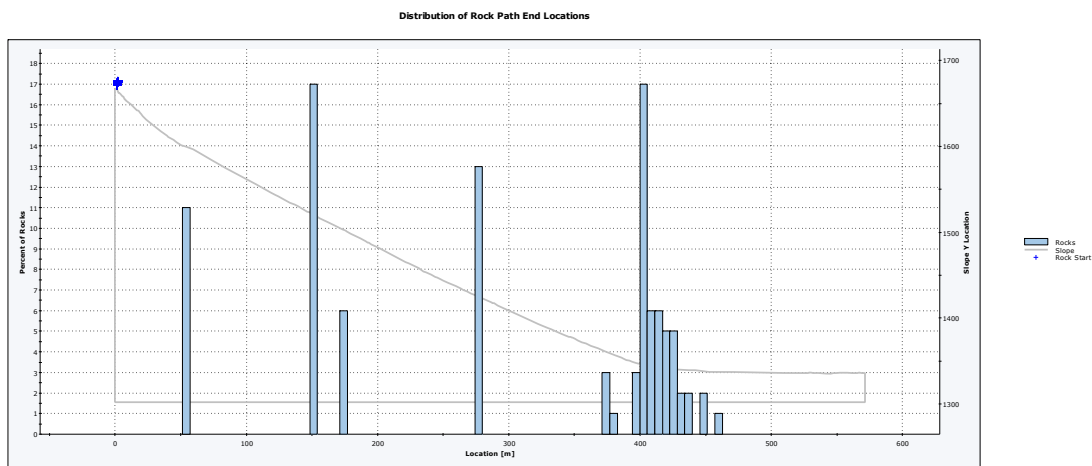


Total number of rock paths: 100

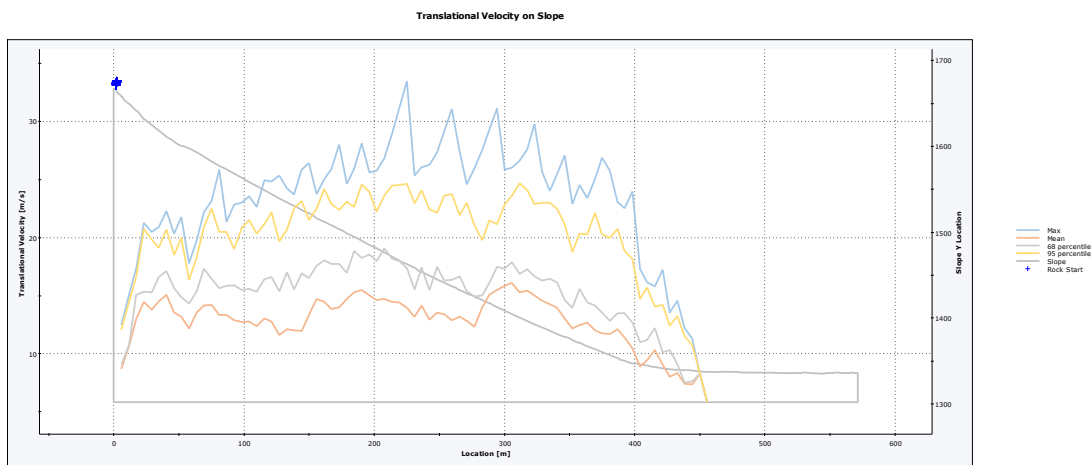
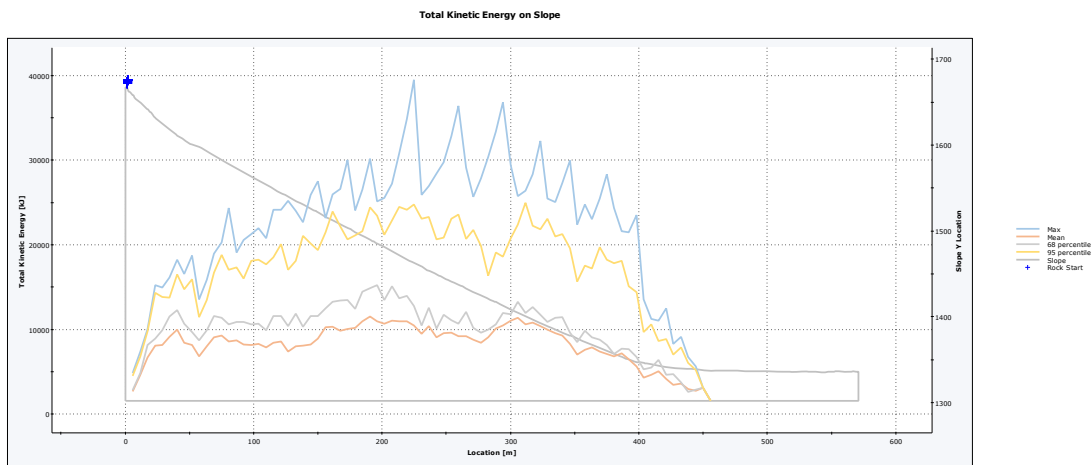
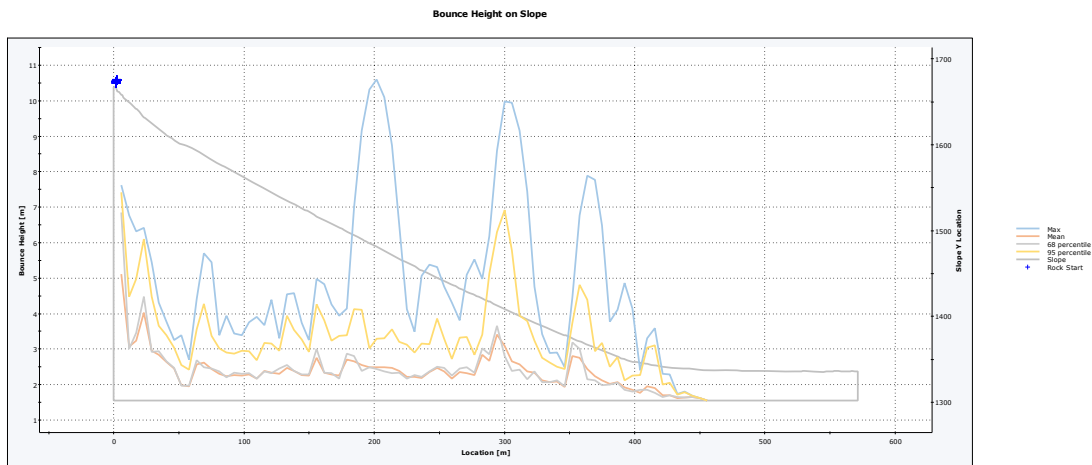


Total number of rock paths: 100

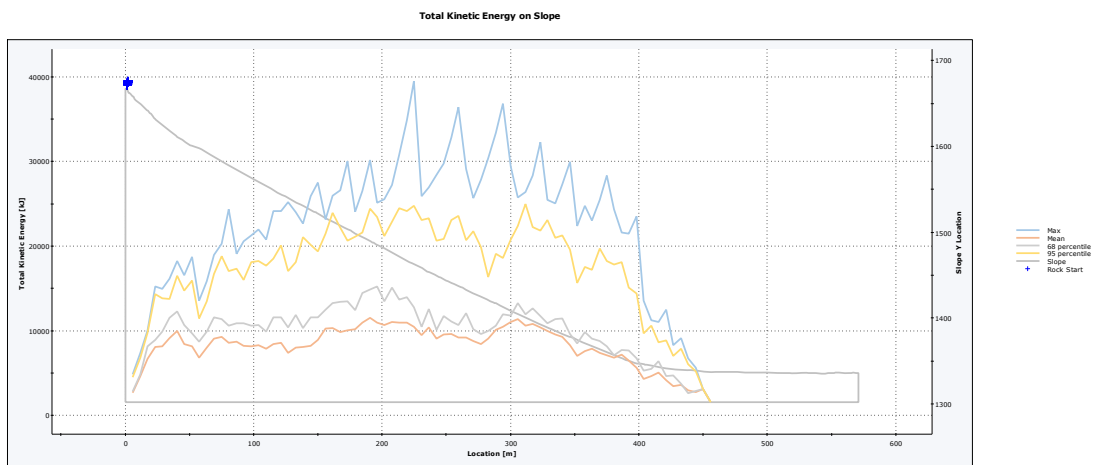
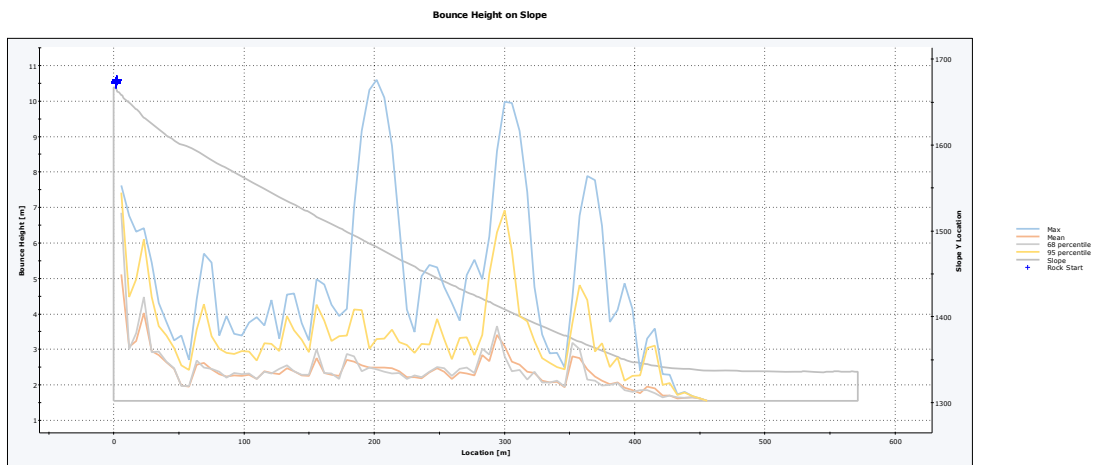
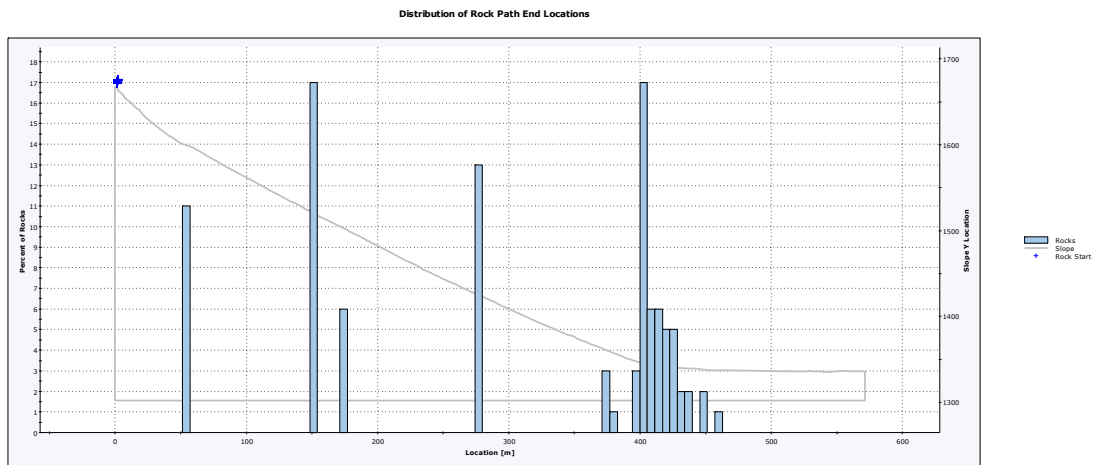
## 12.4 V 22,5 m3

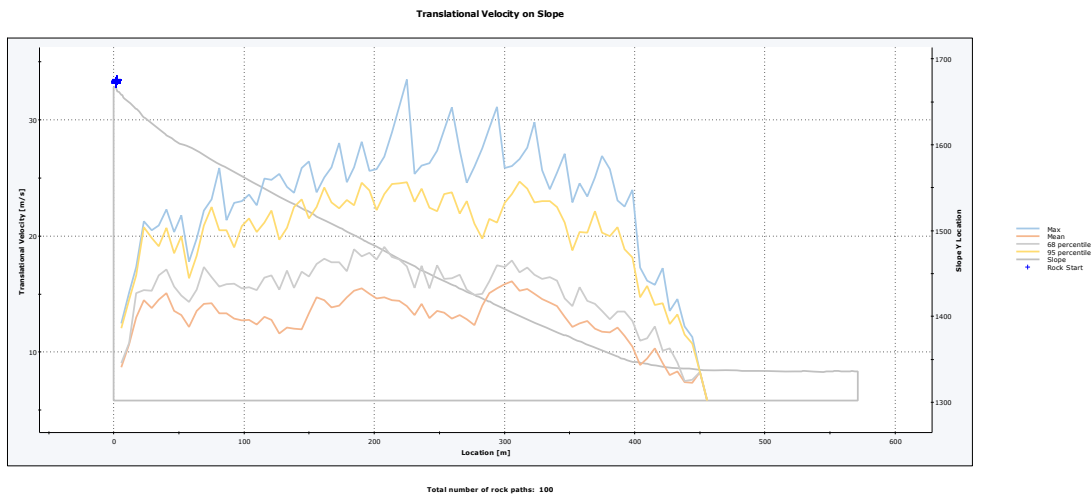


Total number of rock paths: 100



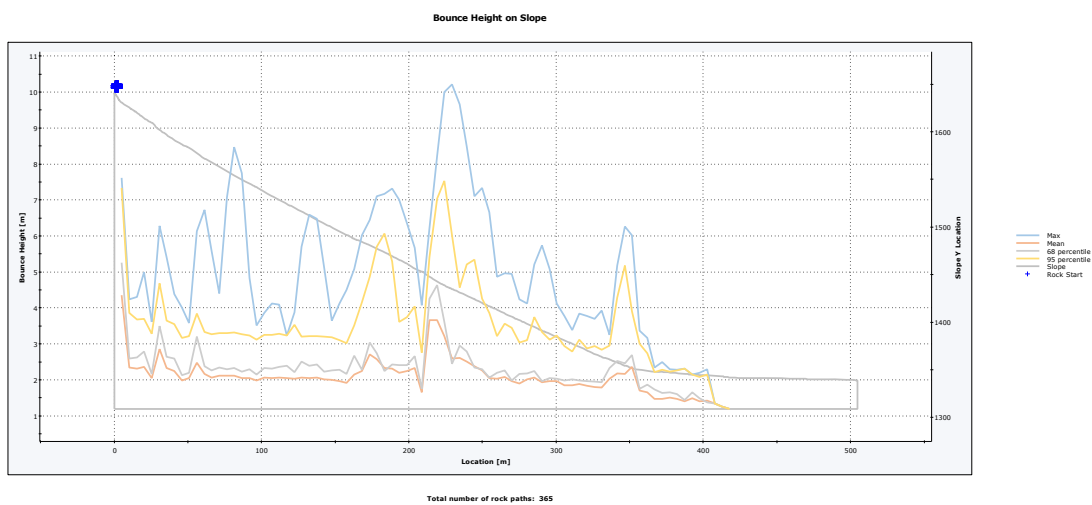
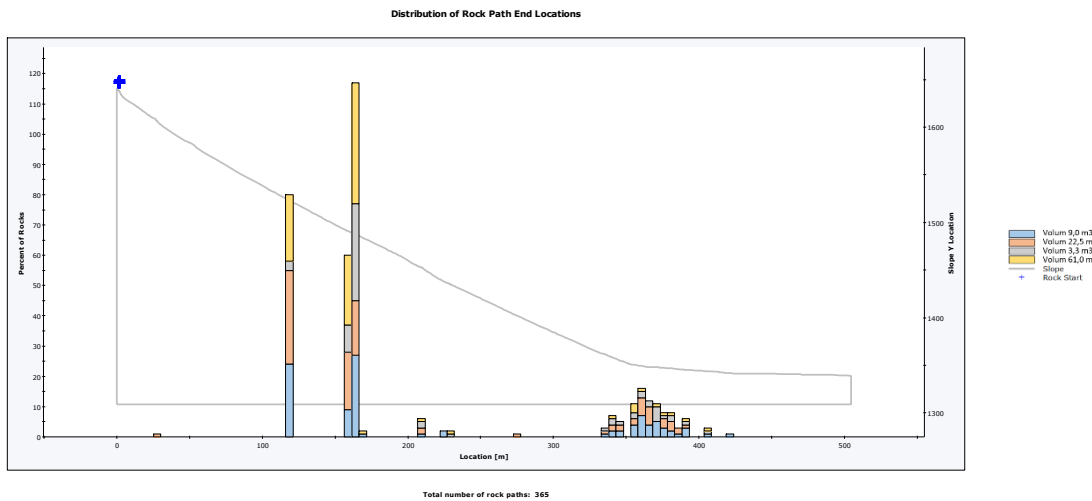
**12.5 V 61,0 m3**

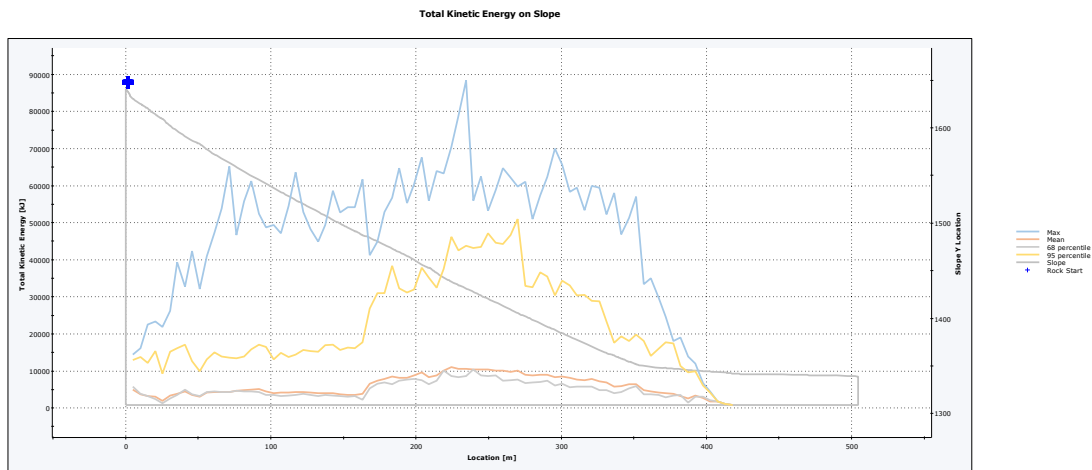




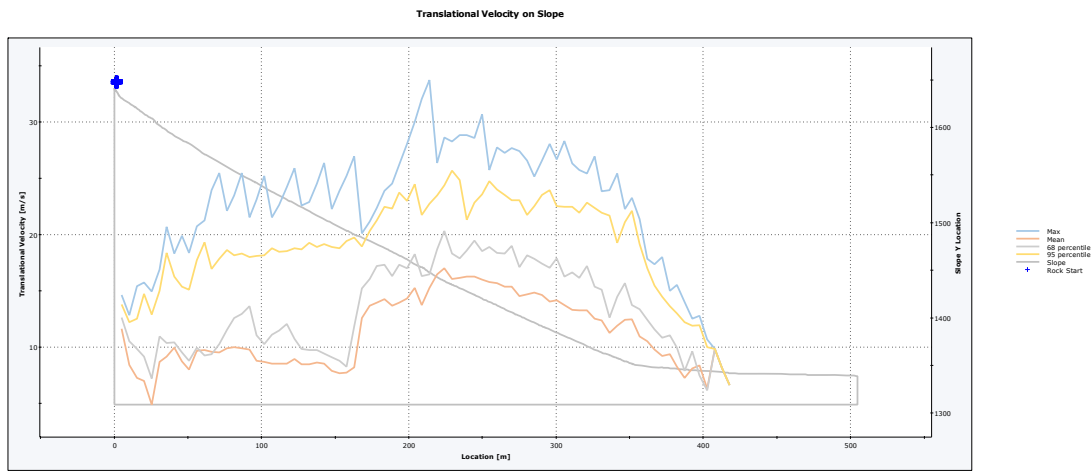
### 13 PERFIL 13

#### 13.1 Combinat

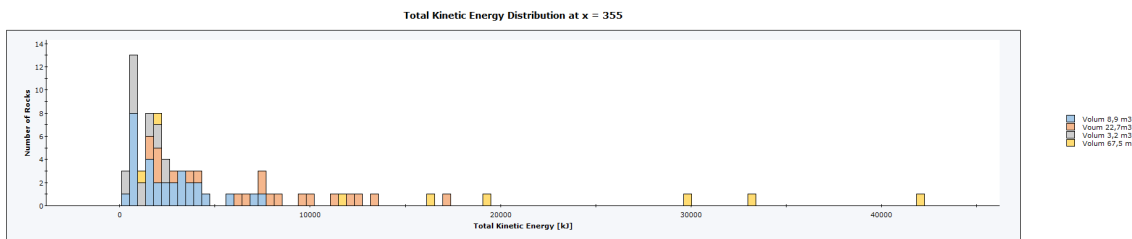




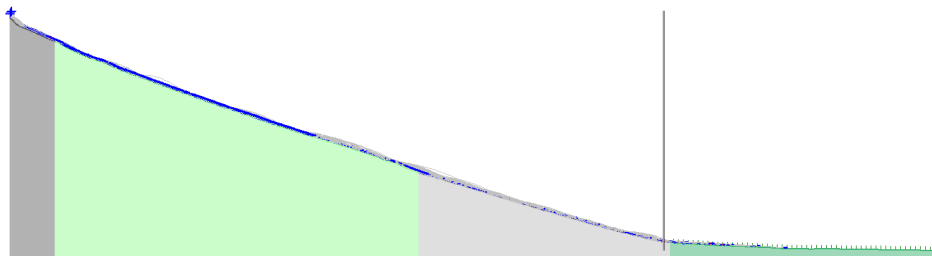
Total number of rock paths: 365



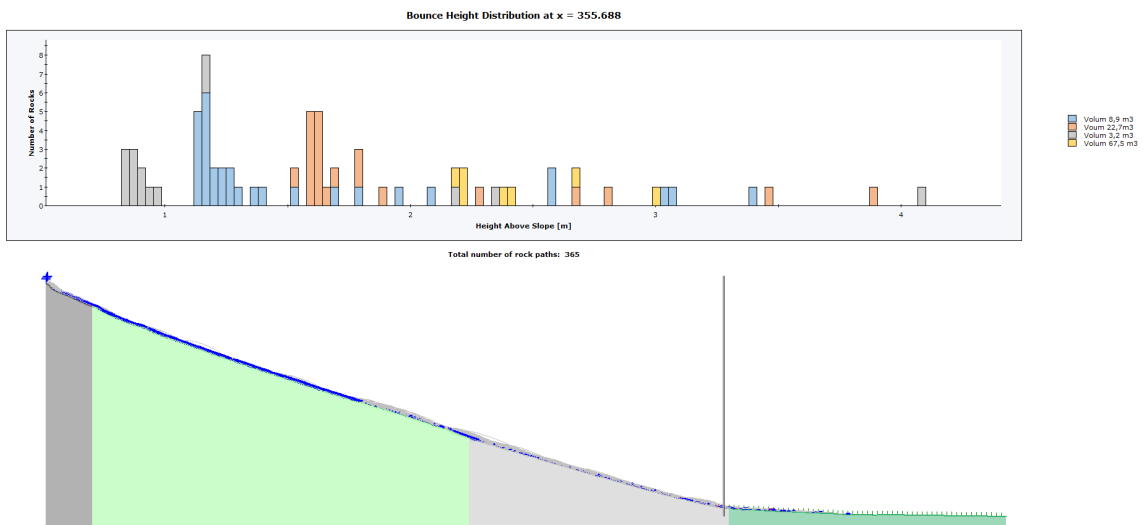
Total number of rock paths: 365



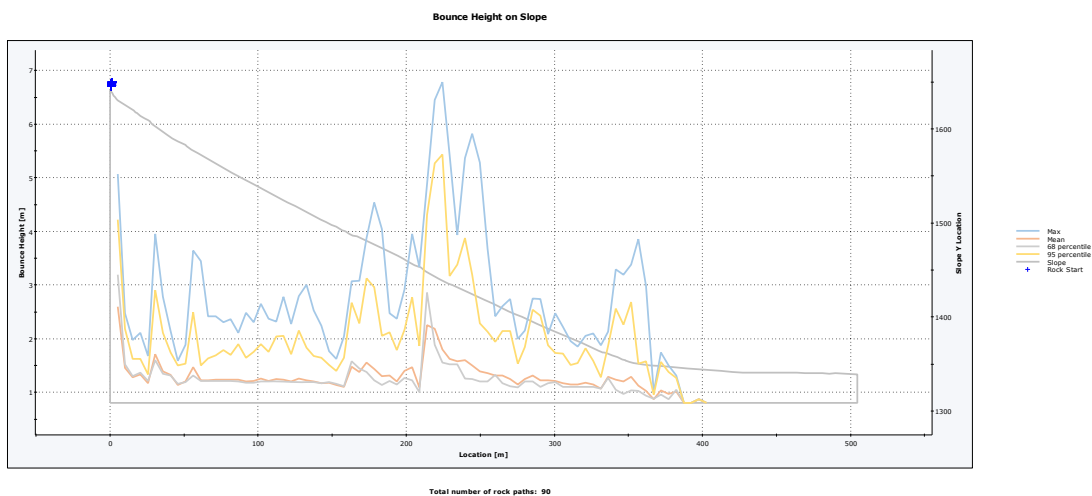
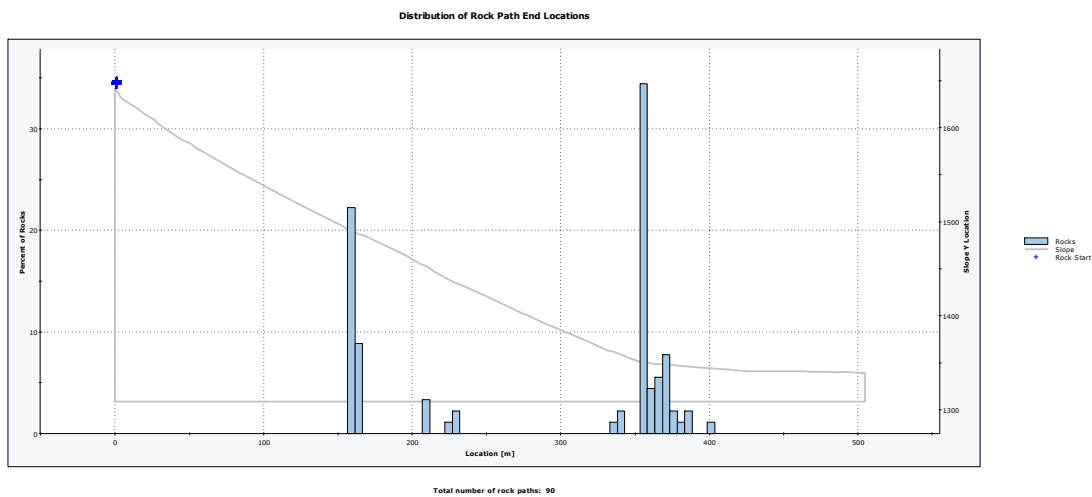
Total number of rock paths: 365

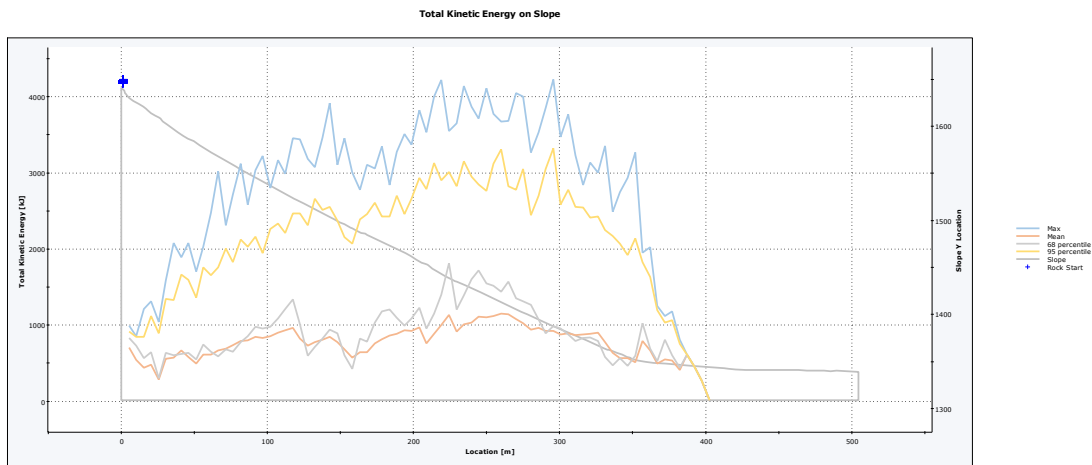




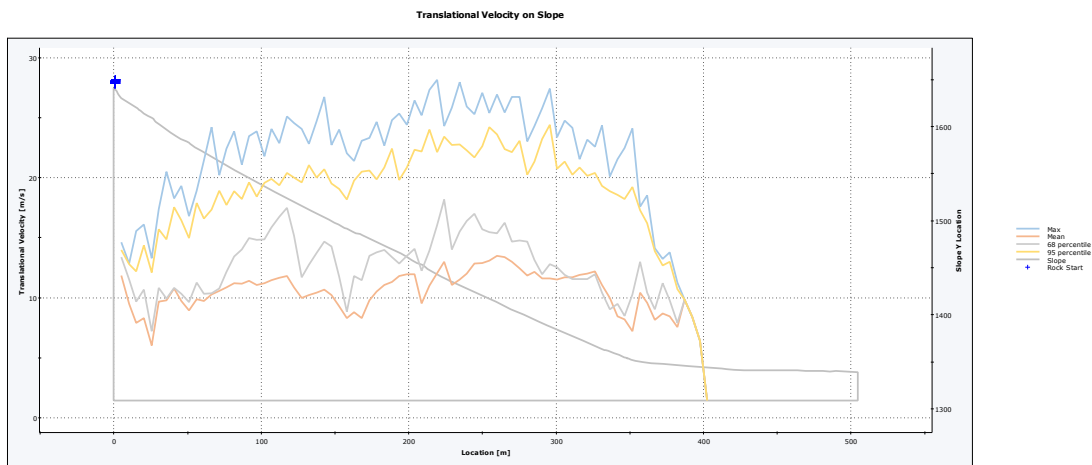


### 13.2 V 3,3 m3



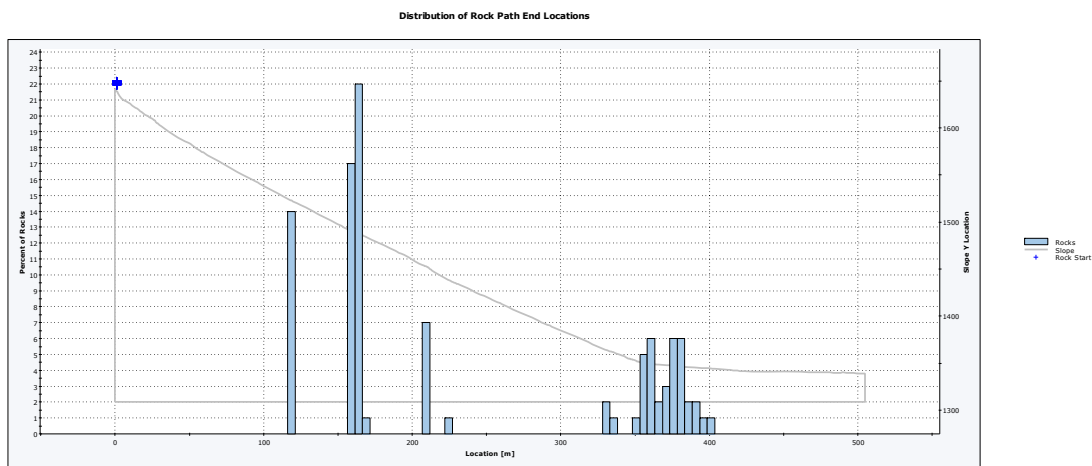


Total number of rock paths: 90

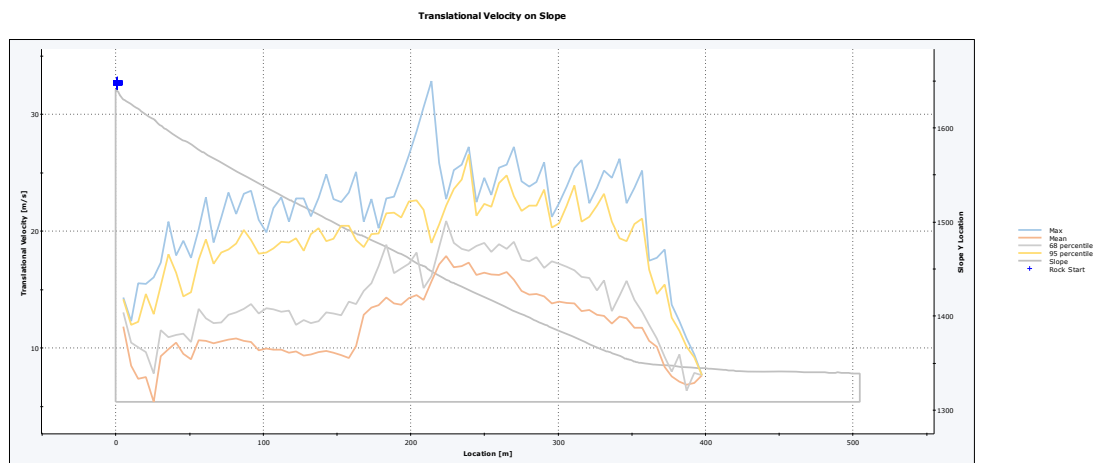
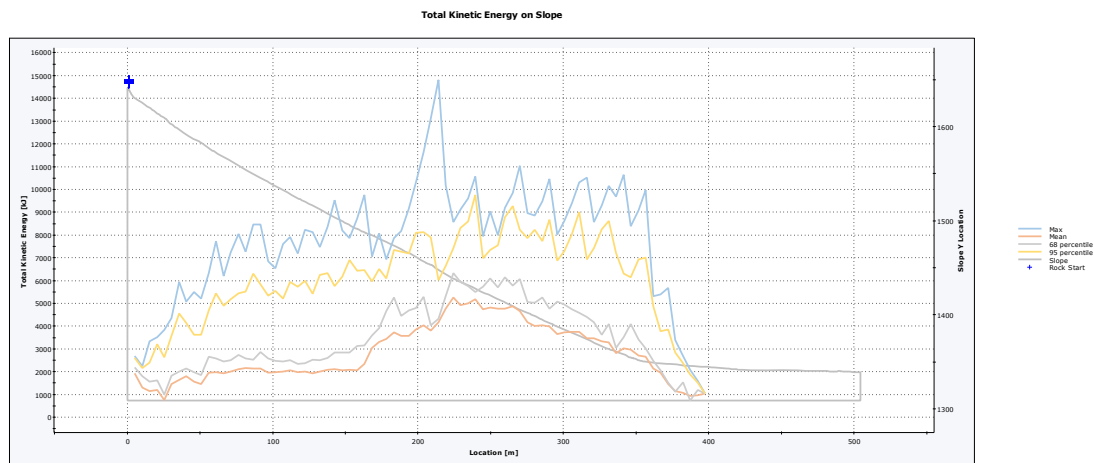
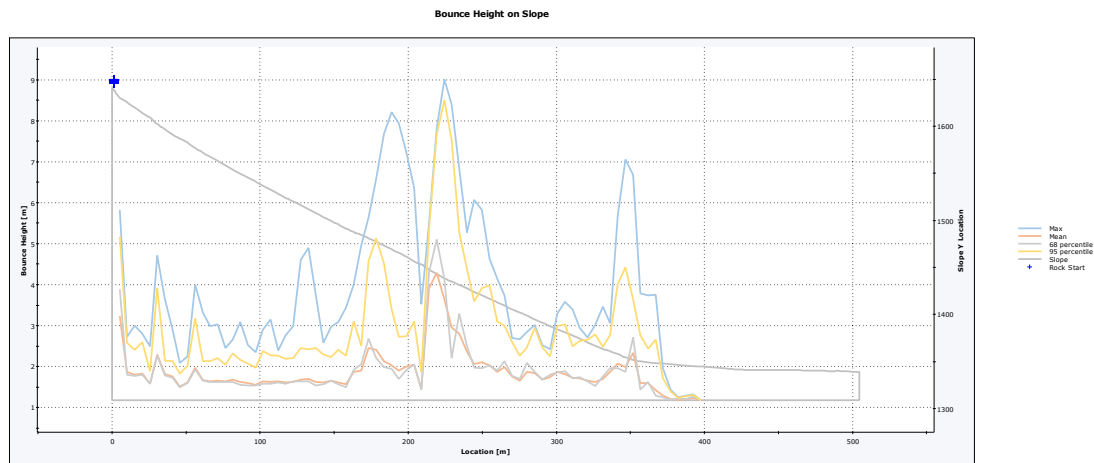


Total number of rock paths: 90

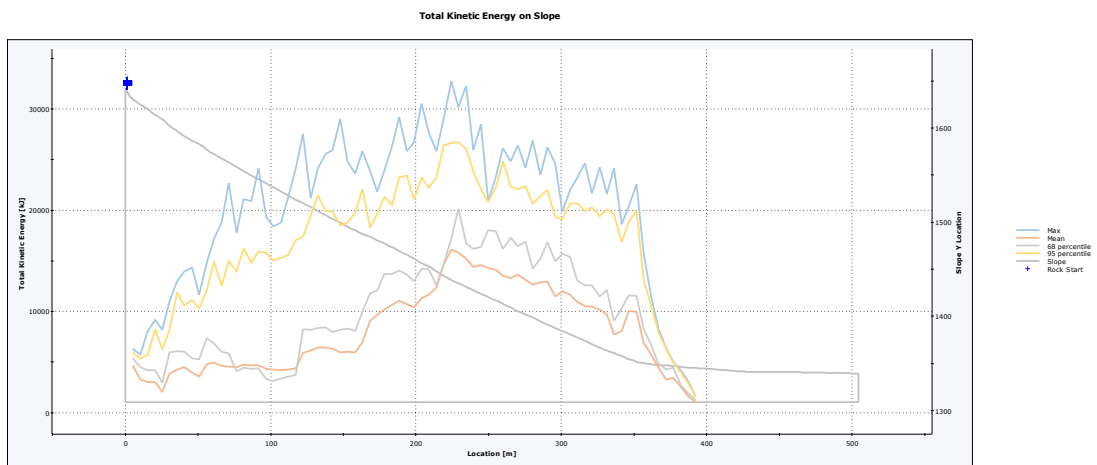
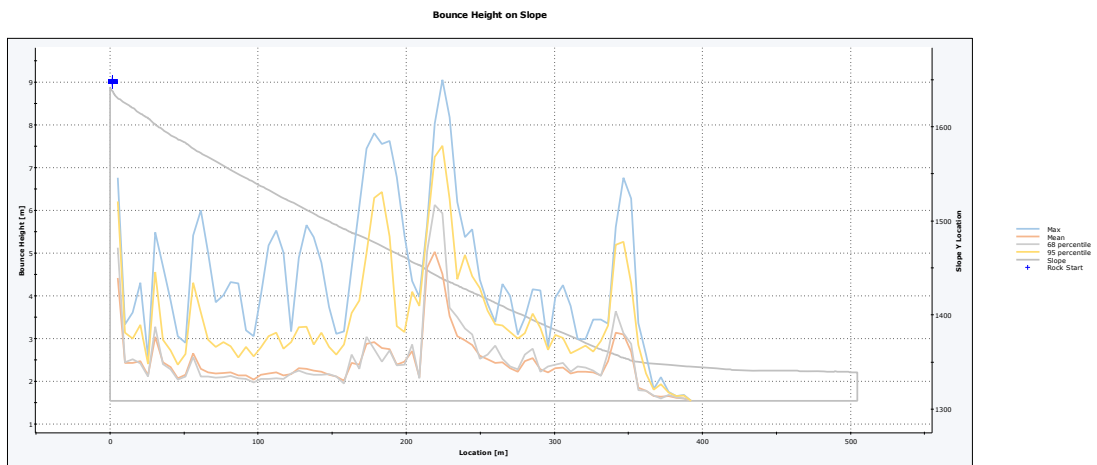
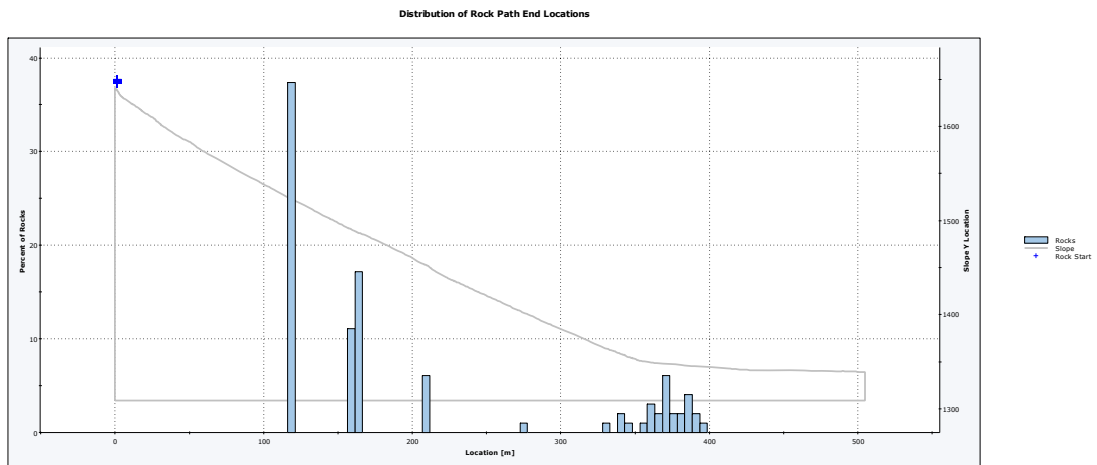
### 13.3 V 9,0 m3

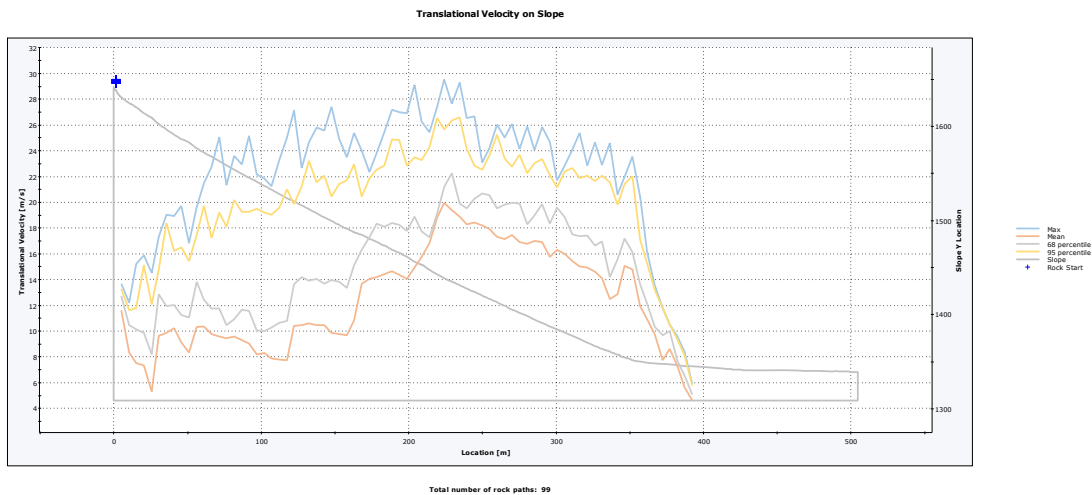


Total number of rock paths: 100

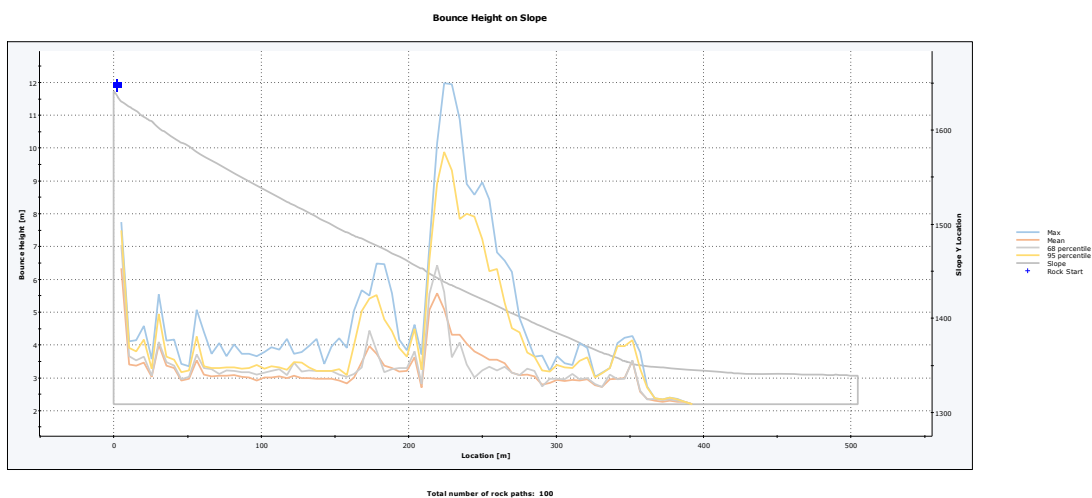
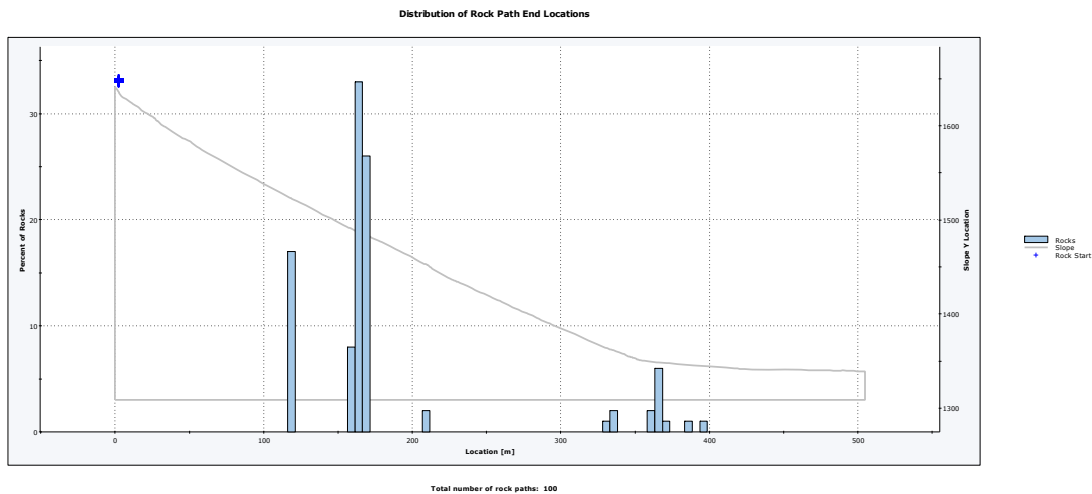


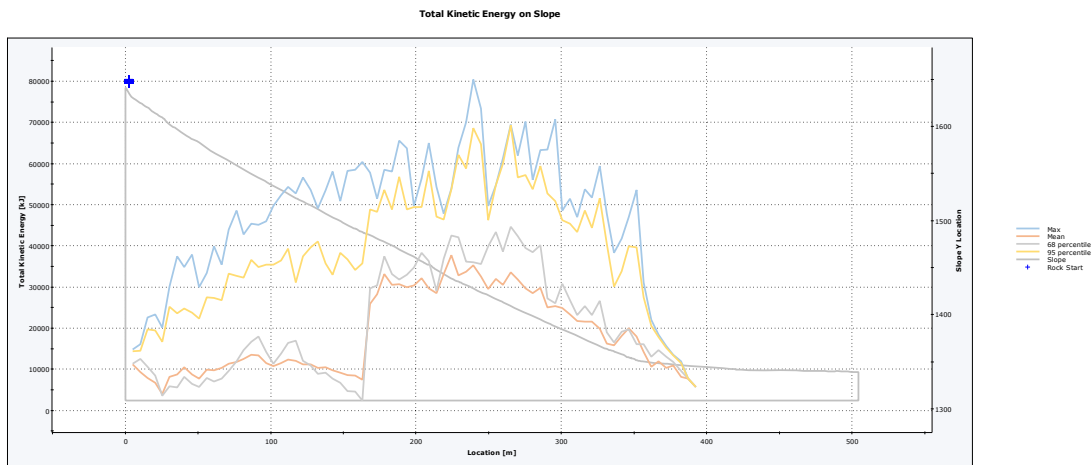
**13.4 V 22,5 m3**



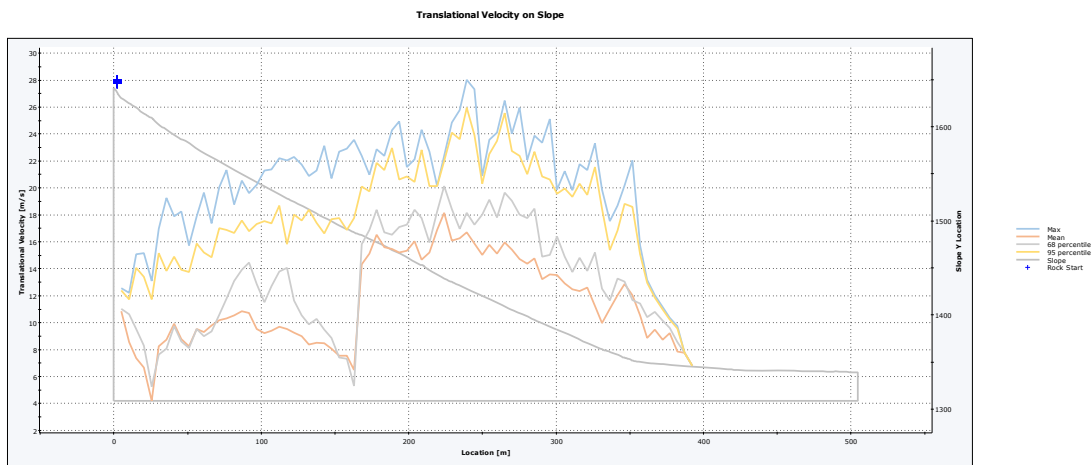


### 13.5 V 61,0 m3





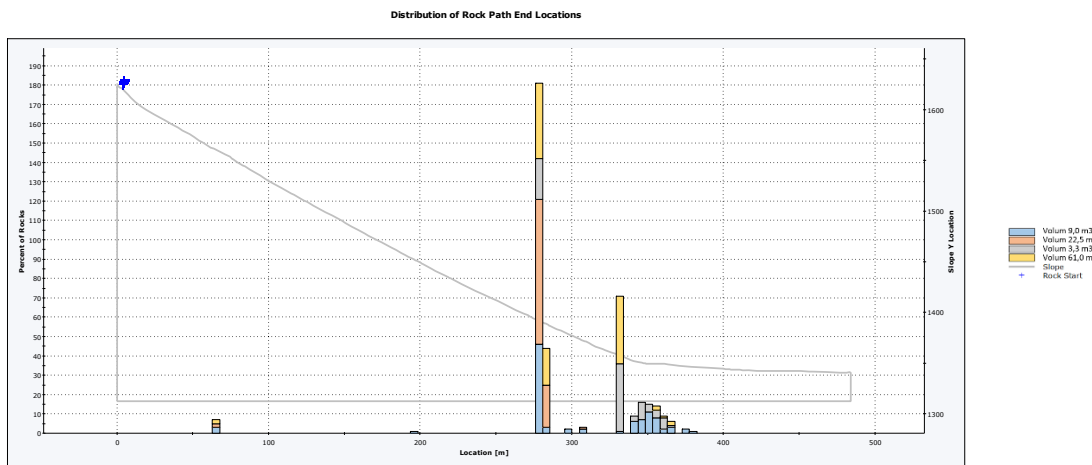
Total number of rock paths: 100



Total number of rock paths: 100

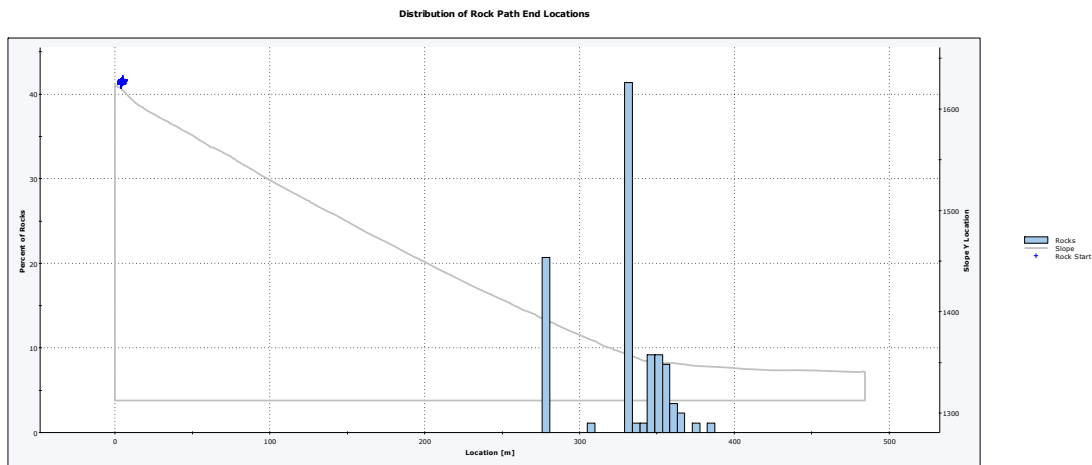
## 14 PERFIL 14

### 14.1 Combinat

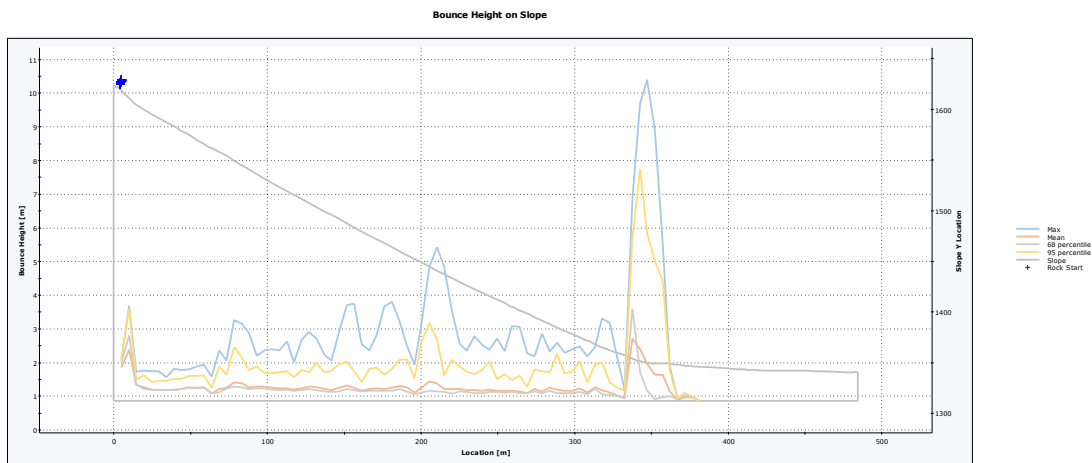


Total number of rock paths: 381

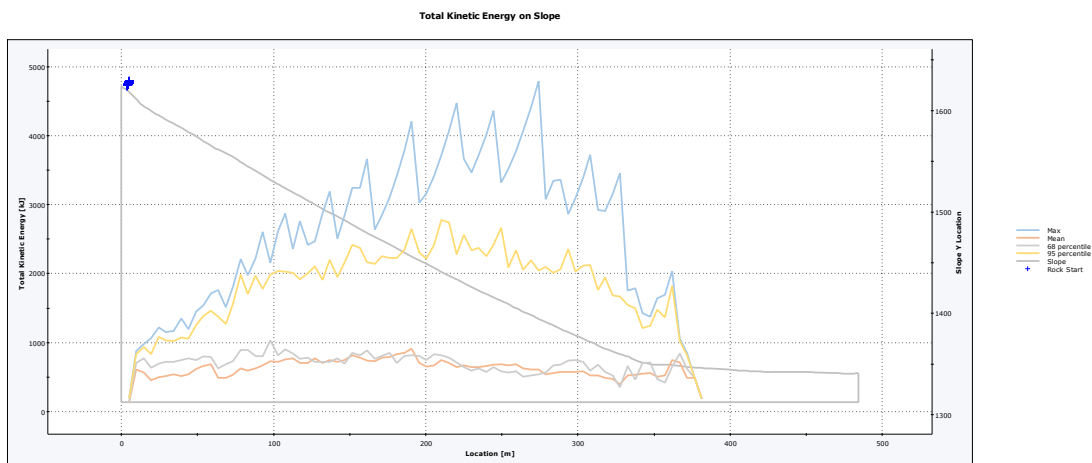
### 14.2 V 3,3 m3



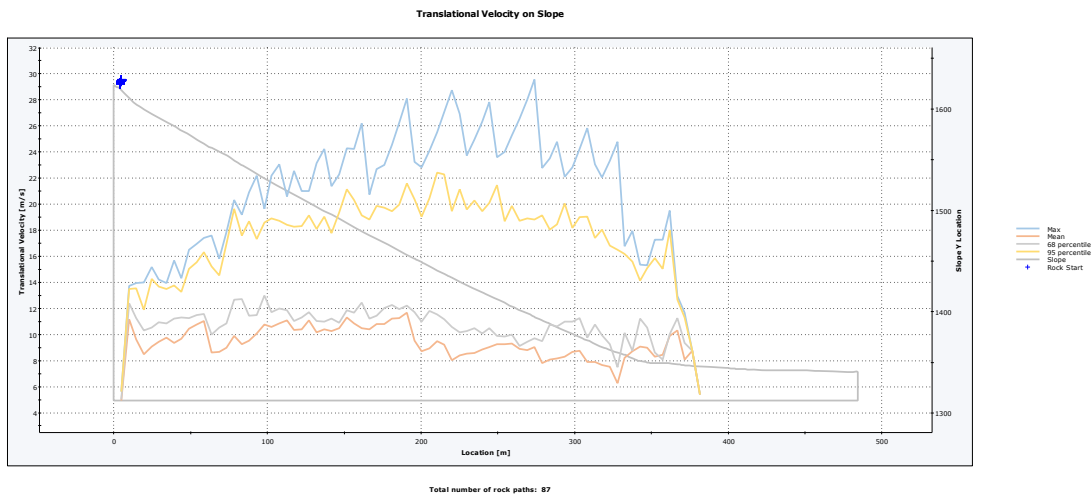
Total number of rock paths: 87



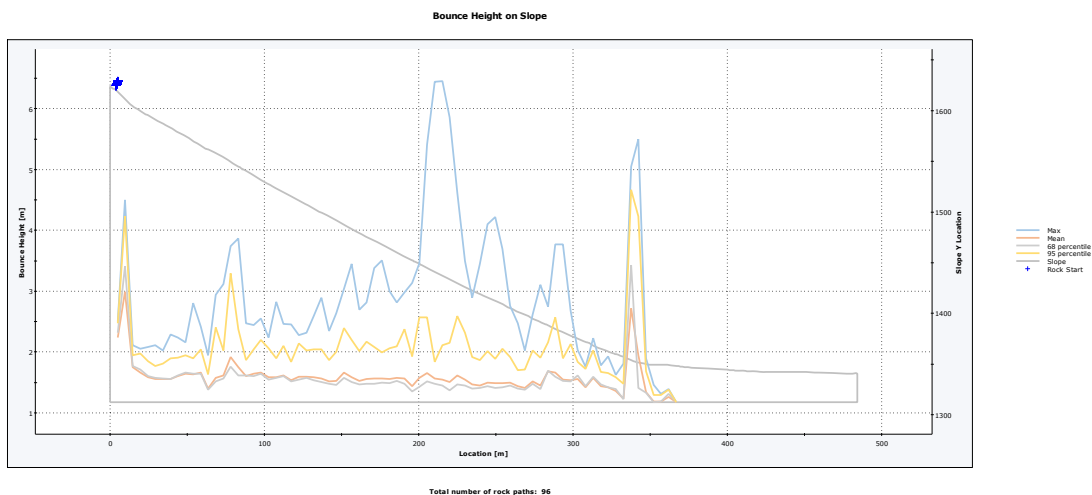
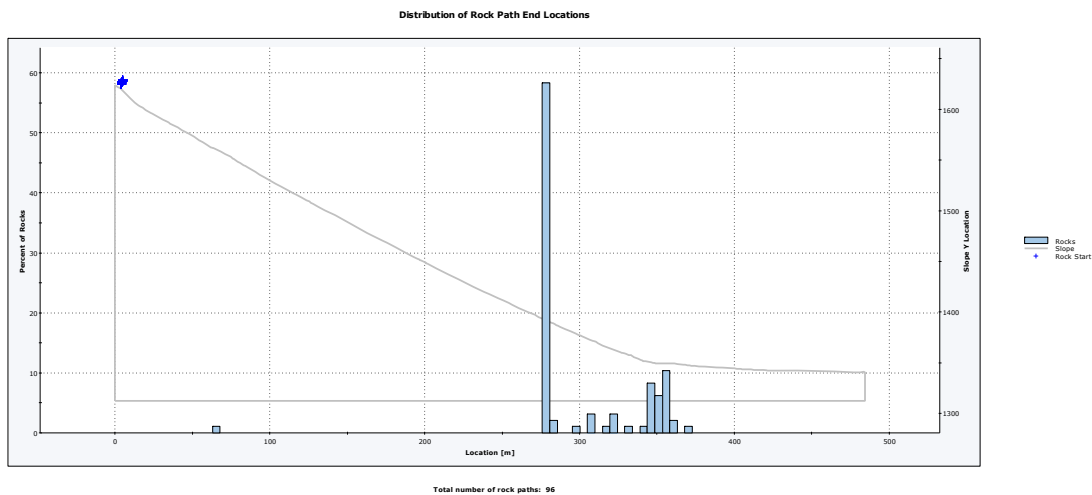
Total number of rock paths: 87



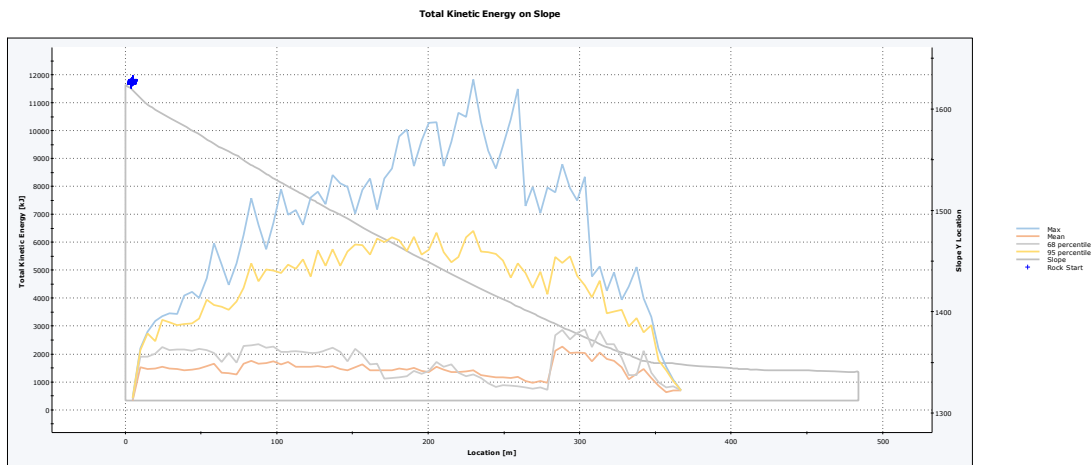
Total number of rock paths: 87



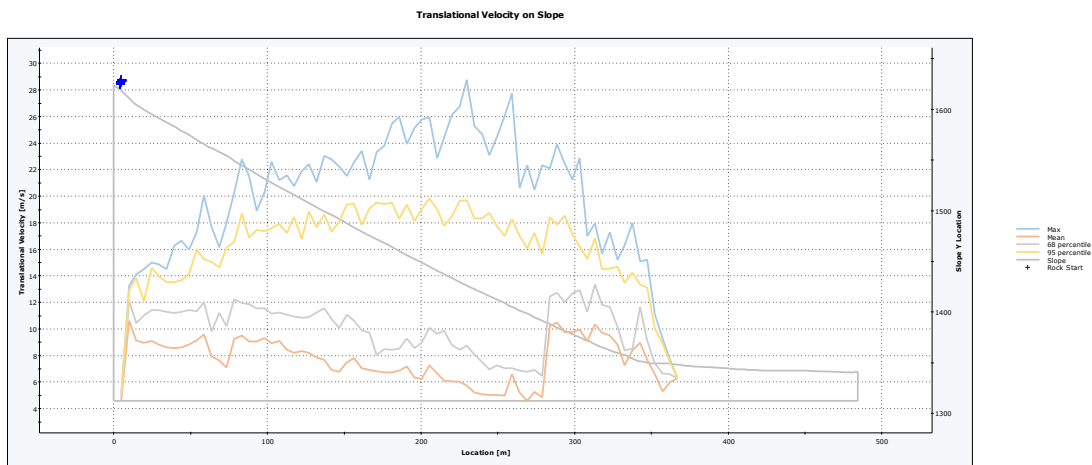
### 14.3 V 9,0 m3





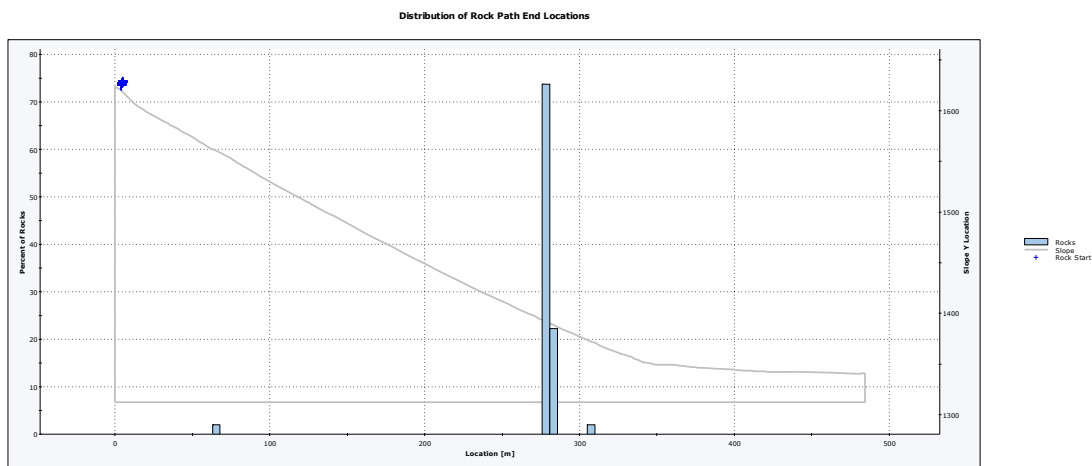


Total number of rock paths: 96

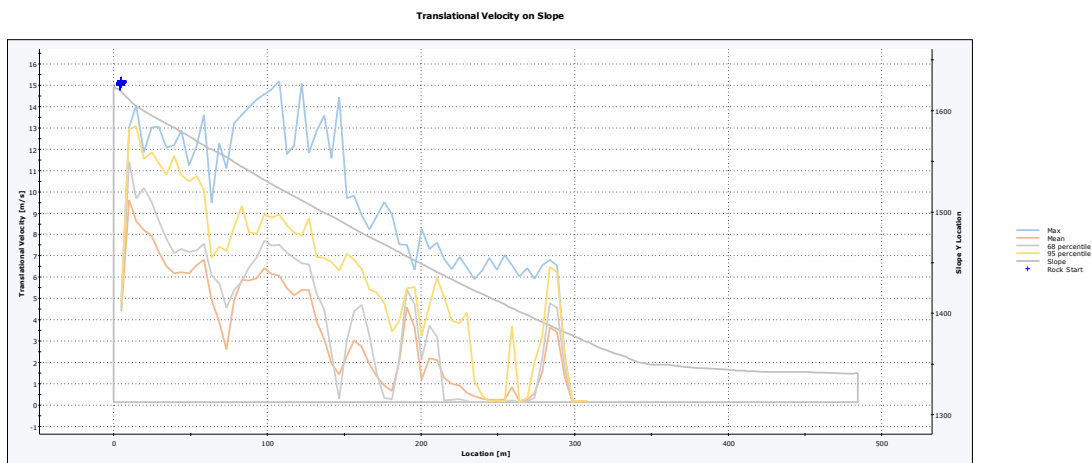
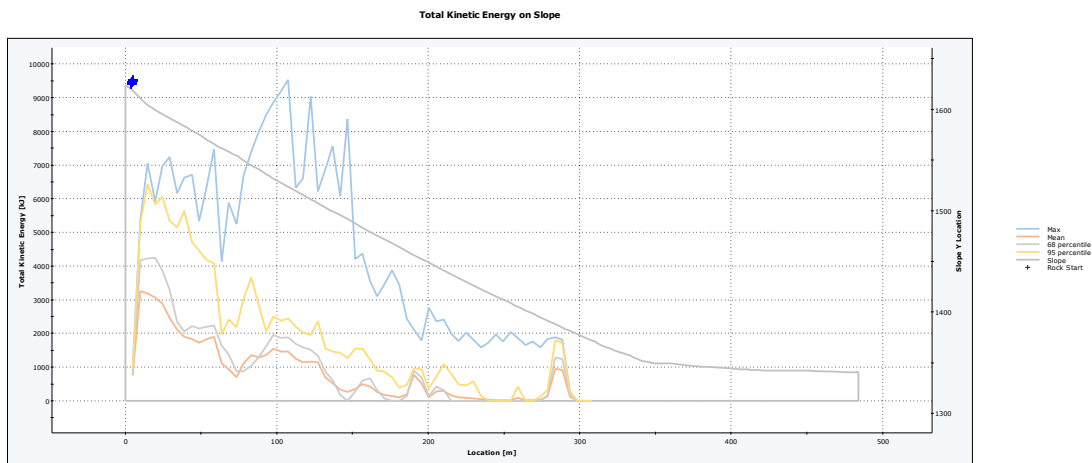
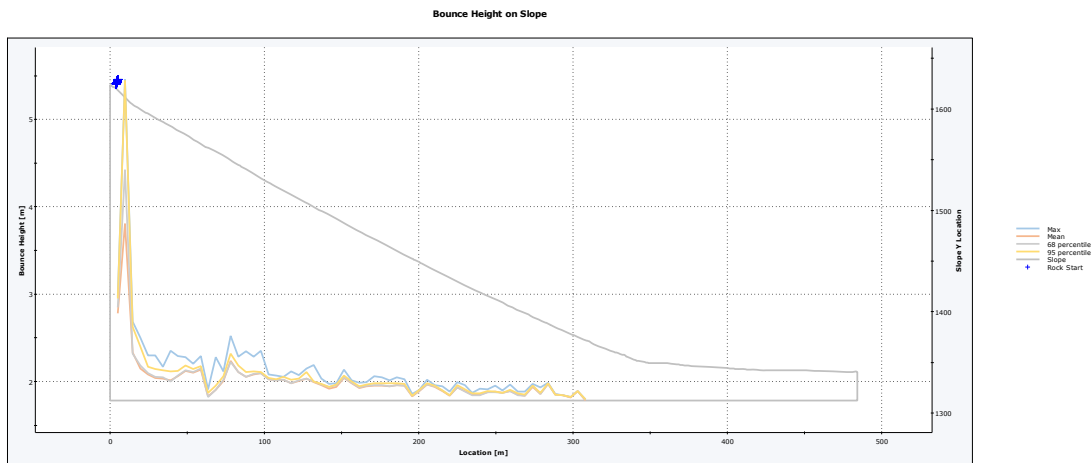


Total number of rock paths: 96

### 14.4 V 22,5 m3

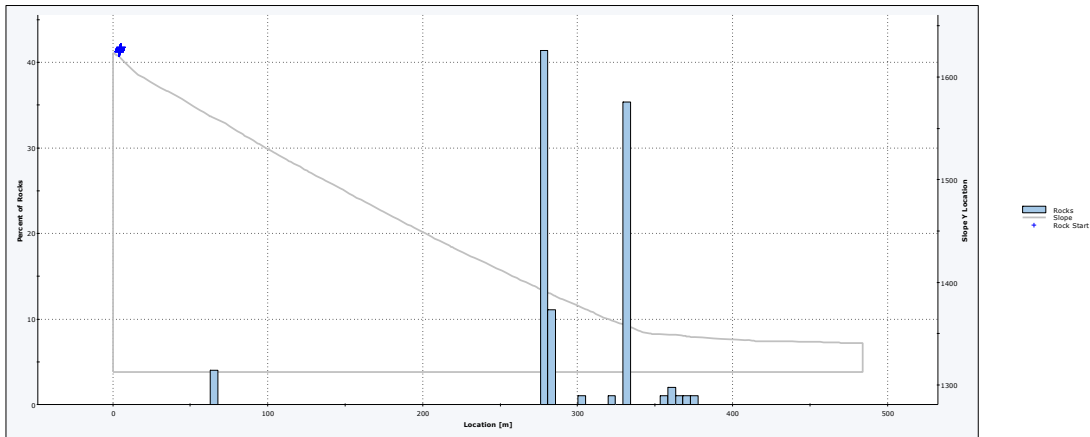


Total number of rock paths: 99



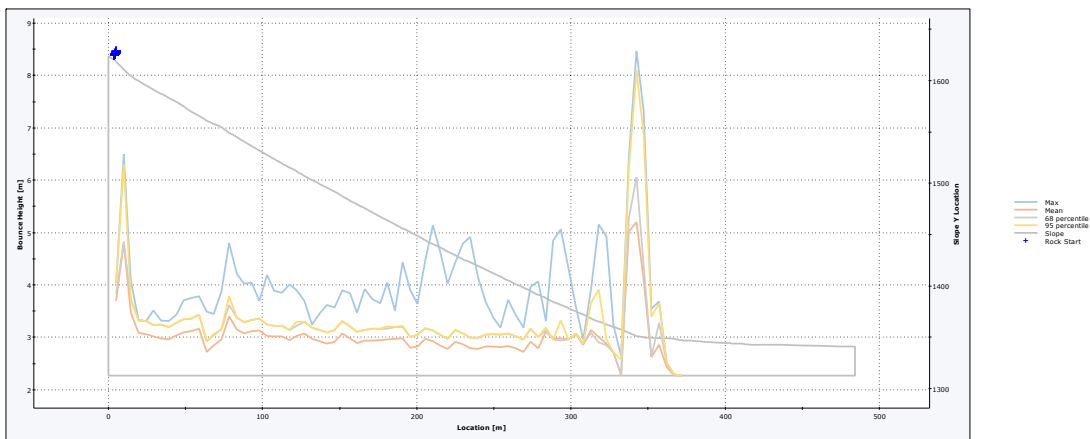
**14.5 V 61,0 m3**

Distribution of Rock Path End Locations



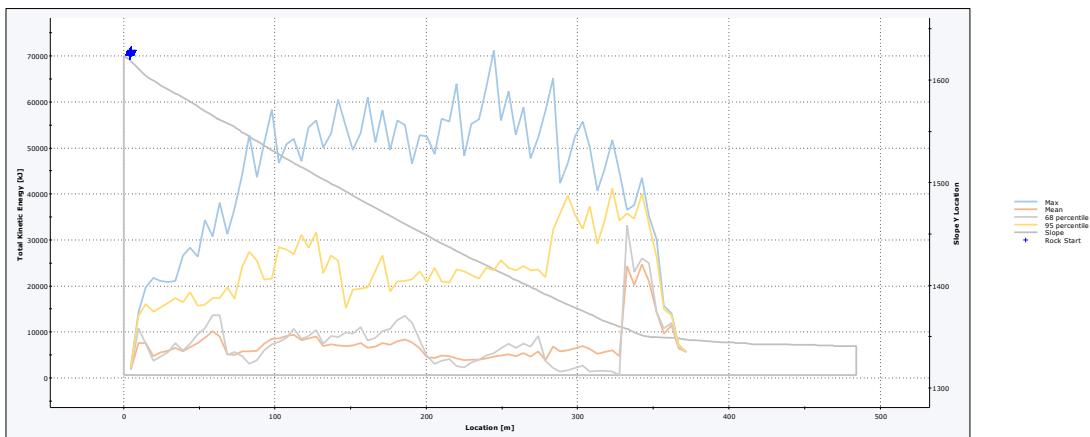
Total number of rock paths: 99

Bounce Height on Slope

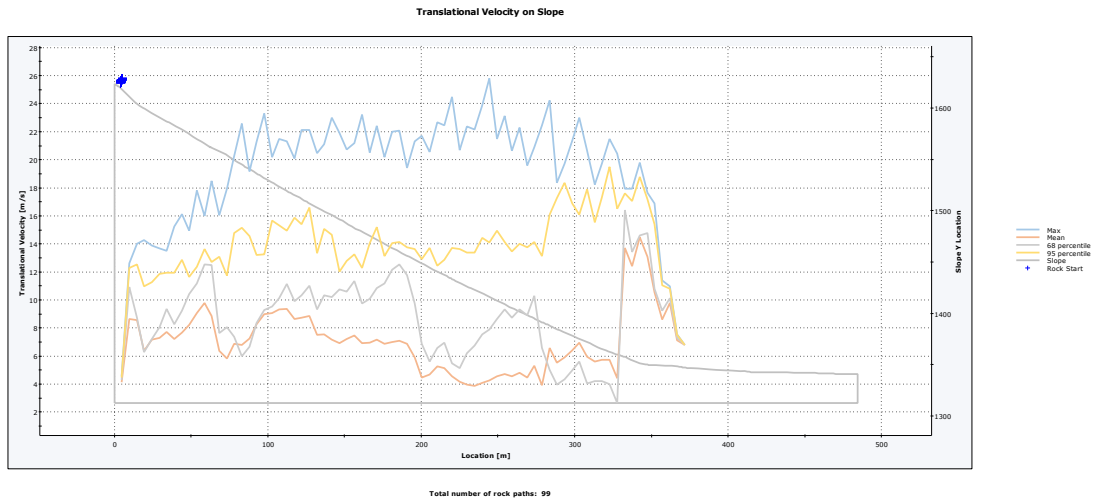


Total number of rock paths: 99

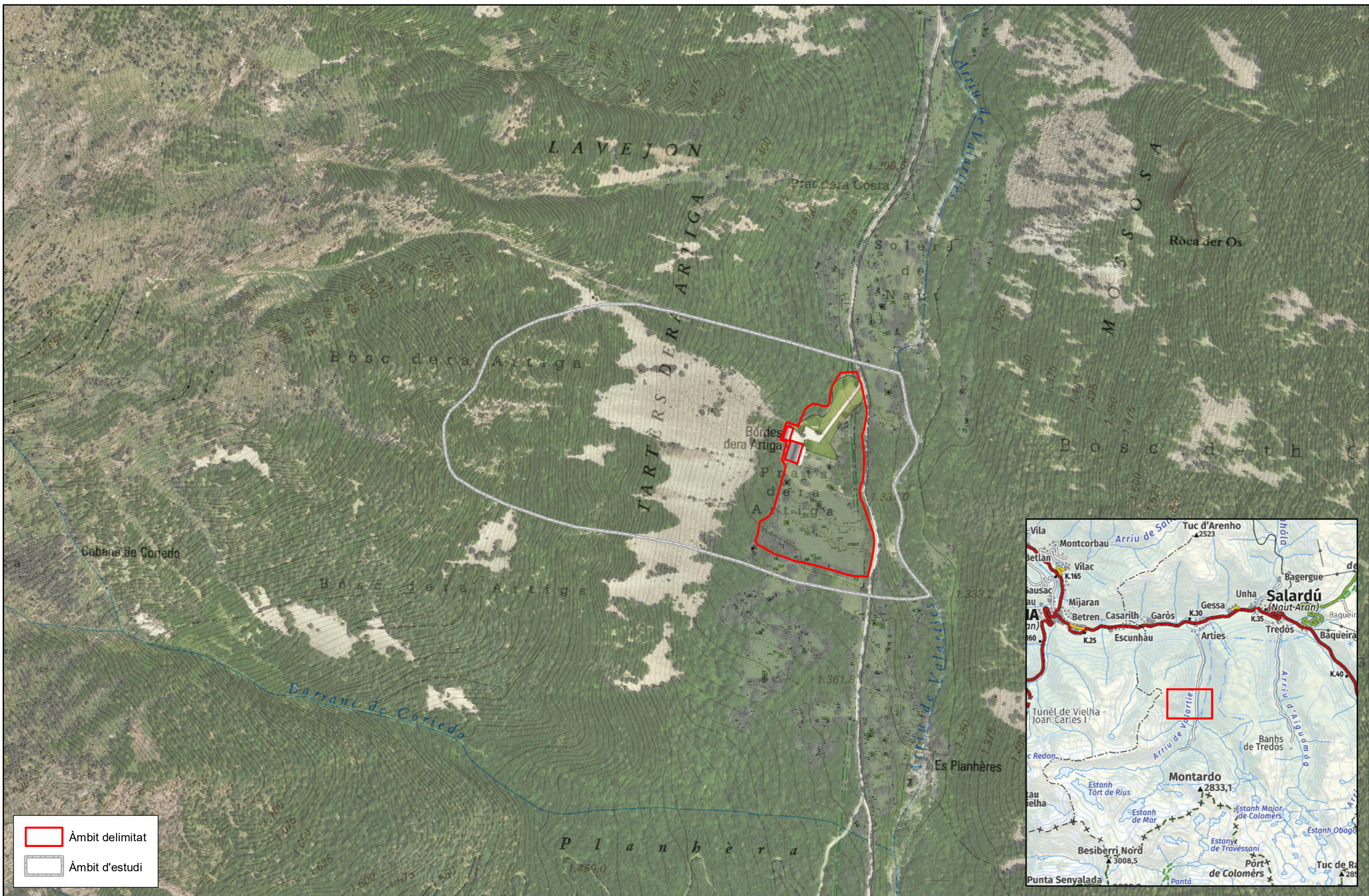
Total Kinetic Energy on Slope



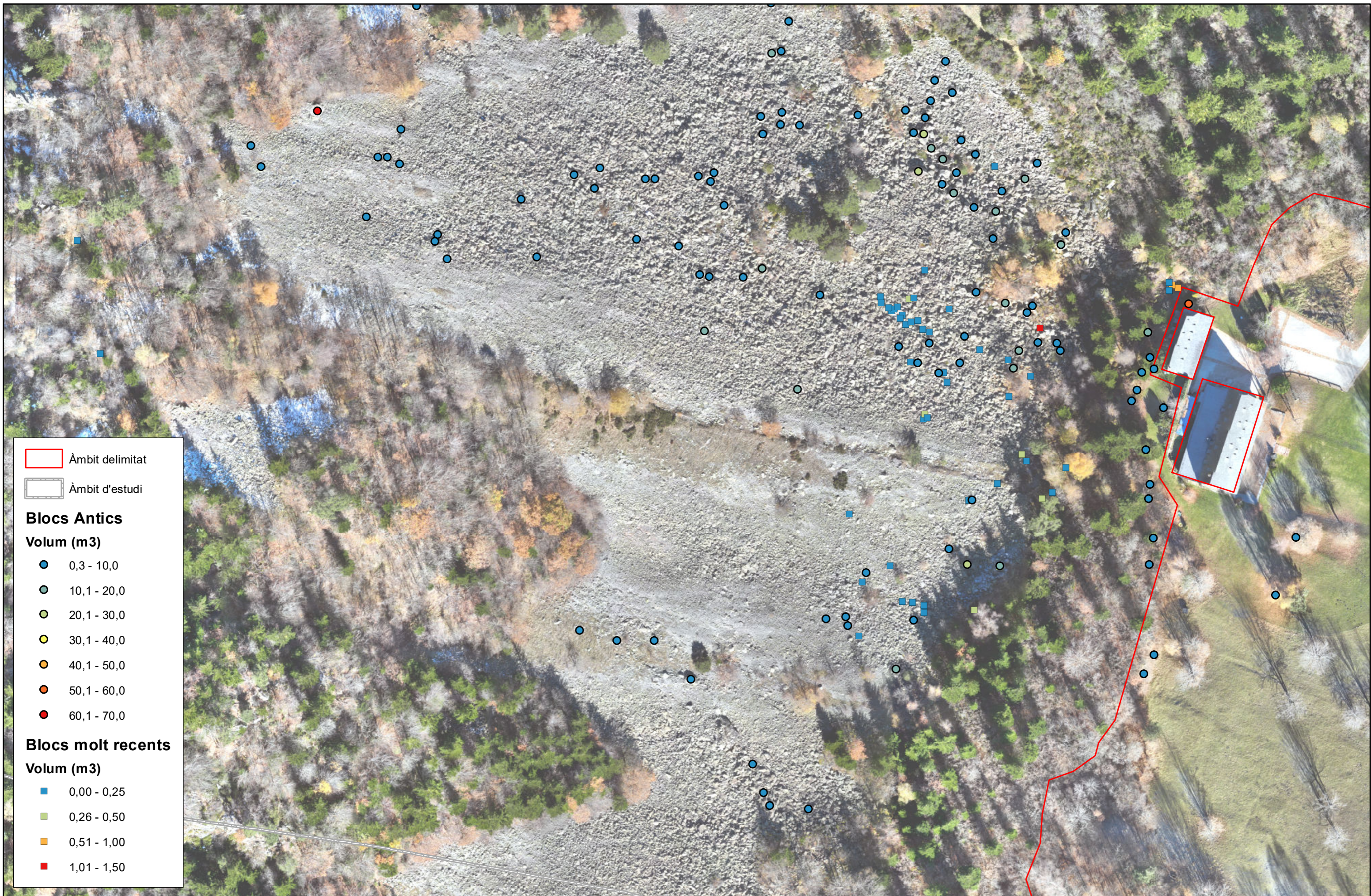
Total number of rock paths: 99



## ANNEX 4: PLÀNOLS



Àmbit delimitat  
 Àmbit d'estudi



Àmbit delimitat  
 Àmbit d'estudi

**Blocs Antics**

**Volum (m3)**

- 0,3 - 10,0
- 10,1 - 20,0
- 20,1 - 30,0
- 30,1 - 40,0
- 40,1 - 50,0
- 50,1 - 60,0
- 60,1 - 70,0

**Blocs molt recents**

**Volum (m3)**

- 0,00 - 0,25
- 0,26 - 0,50
- 0,51 - 1,00
- 1,01 - 1,50

Data:  
Març 2024



Escala: 1:1.000 (DINA3)  
 0 25 50 m

Projecte: Estudi de detall de desprendiments (EDD) en l'àmbit del Projecte d'Actuació Específica (PAE) de reforma i rehabilitació d'edificacions existents per a implantació d'ús hotel·ler a Valarties, municipi de Naut Aran (Val d'Aran)

Nom Plànol: Inventari de blocs

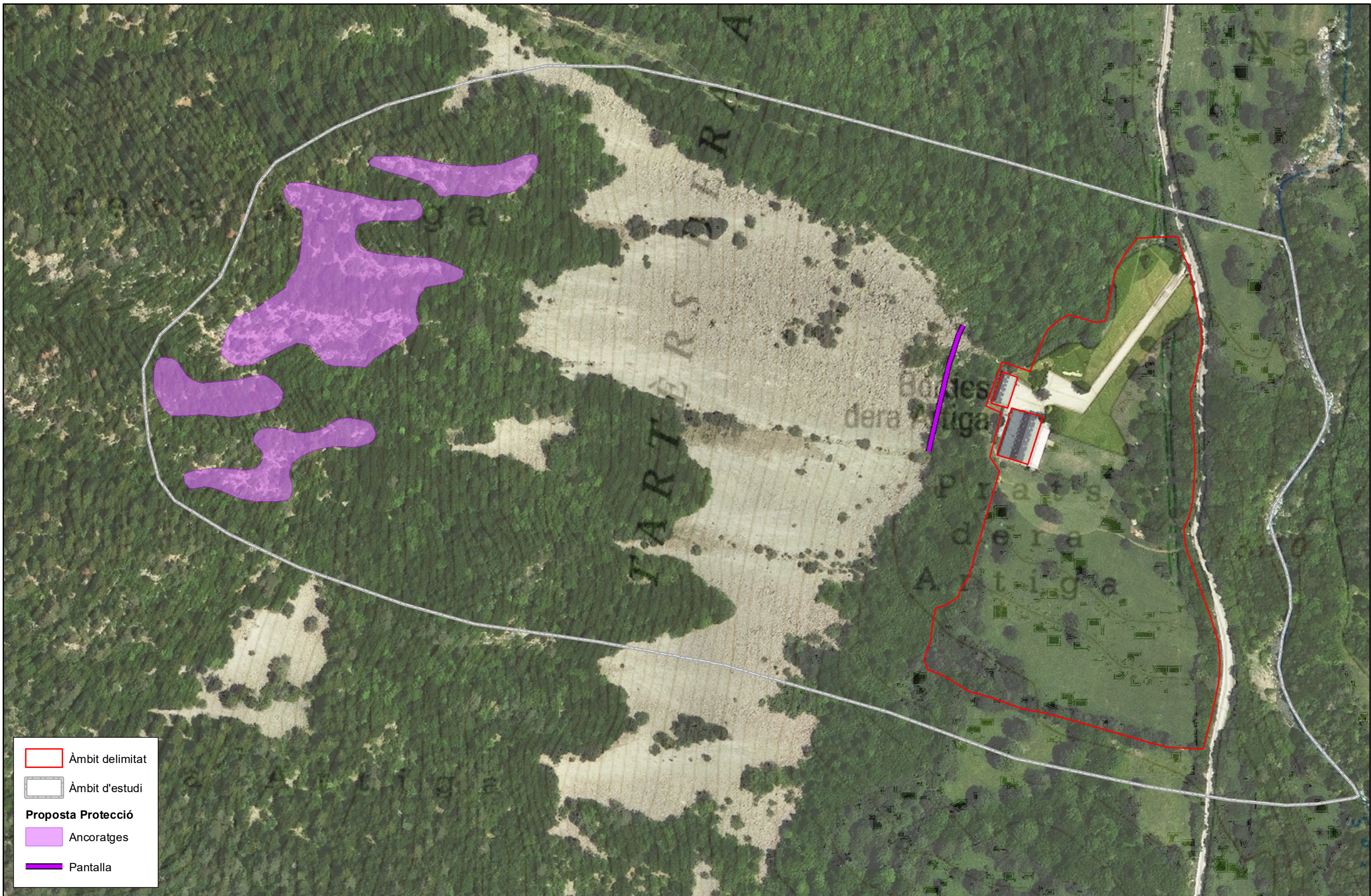


Plànol 2



Àmbit delimitat  
 Àmbit d'estudi  
**Perillositat**  
 Alta  
 Mitjana  
 Baixa





Àmbit delimitat  
 Àmbit d'estudi  
**Proposta Protecció**  
 Ancoratges  
 Pantalla

Data:  
Març 2024



Escala: 1:2.000 (DINA3)

Projecte: Estudi de detall de desprendiments (EDD) en l'àmbit del Projecte d'Actuació Específica (PAE) de reforma i rehabilitació d'edificacions existents per a implantació d'ús hotel·ler a Valarties, municipi de Naut Aran (Val d'Aran)

Nom Plànol: Proposta protecció

N  
  
 Plànol 4