STABILITY ANALYSIS AND STRUCTURAL DESIGN OF REINFORCED CONCRETE RETAINING WALL THE CIVIL ENGINEERING DESIGN OF WORKS FOR THE SUPALAI PRIDE PHUKET HEROINES MONUMENT, PAKLOK PROJECT

Mr. Saranporn Sawatdikul 65109010245
Mr. Apisit Krapanja 65109010076
Mr. Apiwat Thermjit 65109010247

Advisor
Dr. Attasit Sirivachiraporn

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Srinakharinwirot University

Problem Statement

Severe elevation differences on a sloped Phuket site require a specialized retaining wall. Confined boundaries and massive overturning moments make standard cantilever designs unfeasible.

Design Objectives

- Design a safe, optimal cast-in-place cantilever retaining wall.
- Resolve overturning moments by distributing vertical couple forces into pile foundations.

Design Specs

- **Dimensions:** Wall height of 2.20 m and wall thickness of 0.15 m.
- **Material Properties:** Concrete compressive strength (f'c) = 240 ksc; Steel reinforcement yield strength (fy) = 4,000 ksc (SD40).
- **Success Criteria:** The distributed vertical axial loads on each 0.30 x 0.30 m driven pile must strictly remain below the allowable pile capacities for both compression (32.10 tons/pile) and uplift (23.64 tons/pile).

Design Constraints

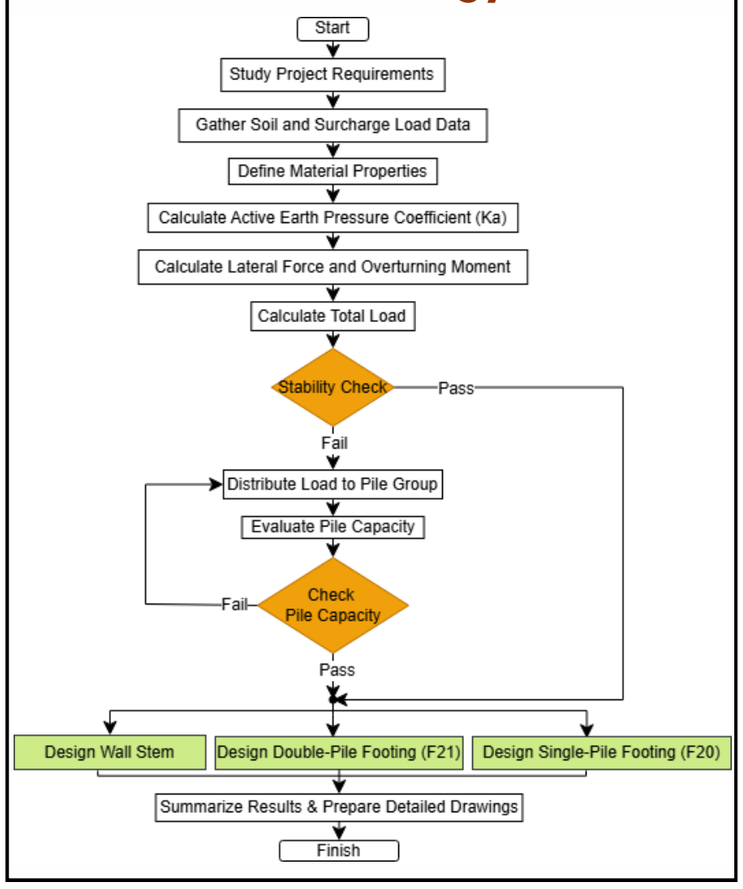
- **Technical Constraints:** The retained earth generates a high factored overturning moment of 2,130 kg-m/m, inducing critical uplift forces on the rear row of the foundation piles.
- **Non-technical Constraints:** The construction footprint is highly restricted as it is located exactly at the property line, necessitating a highly compact foundation footprint and the use of cast-in-place concrete to adapt to the terrain and machinery access limitations.

Engineering Standards

Designed to:

- **Design Method:** Strength Design Method (SDM).
- **EIT Standards: The Engineering Institute of Thailand.**
- **ACI 318: Building Code Requirements for Structural Concrete.**

Methodology



CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 1
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

Data Materials

Materials Properties

- Compressive Strength of Concrete (f'c) :	240	ksc	240	ksc
- Yield Strength of Main Reinforcement (fy)	SD40		4000	ksc
- Yield Strength of Stirrup (fyt) :	SR24		240	ksc
- Modulus of Elasticity of Concrete (Ec) :			235477	ksc
- Modulus of Elasticity of Steel (Es) :			2040000	ksc
- Weight of Concrete :			2400	kg/m³
- n = ES/EC :			8.663	

Constant Strength Design (วสท. 1009-09)

- β_1 : 0.85 (f'c ≤ 280 ksc)
- φ_m : 0.90 (รับโมเมนต์)
- φ_v : 0.75 (รับแรงเฉือน)
- φ_b : 0.65 (รับแรงอัด)

Load

Soil Properties

- Unit Weight of Soil (γs) :	1750	kg/m³
- Cohesive Soil (c) :	0	kg/m²
- Effective Friction Angle (φ) :	31.9	°
- Height of Backfill (H) :	2.2	m
- Surcharge Load (q) :	500	kg/m²
- Span Length (L) :	3.75	m
- Active Earth Pressure Coefficient (Ka) :	0.309	
- Passive Earth Pressure Coefficient (Kp) :	3.241	

Unfactored Earth Pressure

1. แรงดันดิน Active (Active Earth Pressure Force, Pa)



$$Pa = \frac{1}{2} \times Ka \times ys \times H^2$$
= 1306.6 kg/m

$$zPa = H/3$$
= 0.7333 m

2. แรงดันดิน Surcharge (Surcharge Earth Pressure Force, Pq)



$$Pq = q \times Ka \times H$$
= 339.38 kg/m

$$zPa = H/2$$
= 1.100 m

CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 2
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

Load

3. แรงดันดินรวม :

$$Ptotal = Pa + Pq$$
= 1646 kg/m

4. Unfactored Loads :

แรง	ขนาด (kg/m)	จุดกระทำ (m)
Pa	1,307	0.733
Pq	339.4	1.100

Factored Horizontal Loads

1 . Factored Loads ต่อหน่วยความยาว :

Hu_a = 1.6 × Pa
= 2091 kg/m

Hu_q = 1.6 × Pq
= 543 kg/m

Hu_total = Hu_a + Hu_q
= 2634 kg/m

2. Factored Overturning Moment ต่อหน่วยความยาว :

Mu_OT = Hu_a×zHa + Hu_q×zHq
= 2130 kg-m/m

Unfactored Vertical Loads

กำแพงกันดิน :

- ความกว้างกำแพงกันดิน (b) :	0.15	m
- ความสูงกำแพงกันดิน (H) :	2.2	m
ฐานแม่บล็อก :		
- ความสูงวัว (Hf) :	1.8	m
- ความหนาอิฐบล็อก (tb) :	0.7	m
- ความหนาแน่นอิฐบล็อก (γb) :	1200	kg/m³
ฟันหลัง :		
- ความสูง (h) :	0.1	m
- ความกว้าง (b) :	0.15	m

1. น้ำหนักกำแพงกันดิน (Wwall) :
Wwall = 0.15*2.2*2400
= 792 kg/m

2. น้ำหนักกำแพง :
wb = (1.8*0.7*1200) + (0.1*0.15*2400)
= 1548 kg/m

3. น้ำหนักรวมแนวดิ่ง :
Wt = 792+1548
= 2340 kg/m

CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 3
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

Load

Factored Vertical Loads

Pu = 1.2 * (Wwall+ Wblock)
= 2808 kg/m

Stability Check

การตรวจสอบเสถียรภาพ (Overturning & Sliding) จะต้องใช้น้ำหนักรรทุกแบบไม่คูณหน่วยน้ำหนัก

Overturning Check

- โมเมนต์พลิกคว่ำ (Overturning Moment, Mo) :
Mo = 1331 kg·m/m

- โมเมนต์ต้านทาน (Resisting Moment, Mr) :
Mr = 175.5 kg·m/m

- อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety against Overturning) :
FSot = Mr/Mo
= 0.132 < 1.5 :NG
ค่า FS ต้านทานการพลิกคว่ำ < 1.50 :
>จำเป็นต้องออกแบบระบบฐานรากเสาเข็มเพื่อรับโมเมนต์ (Moment-Resisting Pile Foundation)"

Sliding Check

- แรงผลักให้เลื่อน (Driving Force) :
Pt = 1646 kg/m

- แรงต้านการเลื่อน (Resisting Force, Fr) :
Fr = Wt*μ ;μ = 0.39
= 910.8 kg/m
FSs = Fr/Pt
= 0.553 < 1.5 :NG
ค่า FS ต้านทานการเลื่อนไถล < 1.50 :
แรงเฉือนทั้งหมดจะต้องถูกกำหนดให้ถ่ายลงสู่เสาเข็มเป็นแรงทางข้าง หรือ Lateral Load

Load Distribution

Forces on Footing : F21

- ความยาวช่วง (L) :			3.75	m
- Vu	= Pu*L	=	10530	kg
- Hu	= Hu_total*L	=	9877.5	kg
- Mu	= Mu_OT*L	=	7989	kg·m

- ระยะห่างระหว่างเข็มเดอร์กำแพง ถึง เข็มเดอร์ฐานราก (e) : 0.45 m
- Mut = Mu+Vu*e = 12727 kg·m
- กระจายแรงลงเสาเข็ม (Pile Force Distribution)

$$Pi = \frac{V}{2} \pm \frac{Mut}{s}$$
s = 0.9 m
(s คือระยะห่างระหว่างศูนย์กลางเสาเข็มทั้งสองต้น)

- แรง (Pmax/Pmin) :
Pmax = 19407 kg : 19 tons
Pmin = -8876.6 kg : -9 tons (Uplift Force)

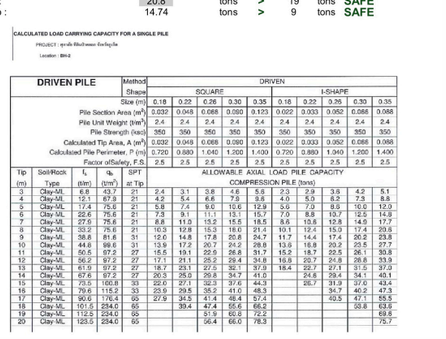
CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 4
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

Load Distribution

- ตรวจสอบรับแรงอัด/ถอน (Compression/Uplift Capacity Check)

- Section :	0.3*0.3	m*m				
- length :	9	m				
- Area (A) :	0.09	m²				
- Pile Unit Weight :	2.4	t/m³				
- Pile Strength :	350	ksc				
- Pile Perimeter (P) :	1.2	m				
- F.S. :	2.5					
- fs :	38.8	t/m				
- qb :	81.6	t/m²				
- Wp :	1.944	tons				
- Qa :	20.8	tons	>	19	tons	SAFE
- Qup :	14.74	tons	>	9	tons	SAFE



CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 5
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

Load Distribution

Forces on Footing : F20

- ความยาวช่วง (L) :			1.875	m		
- Vu	= Pu*L	=	5265	kg		
- Hu	= Hu_total*L	=	4938.8	kg		
- Mu	= Mu_OT*L	=	3994.5	kg·m		

- กระจายแรงลงเสาเข็ม (Pile Force Distribution)
- แรง (P) :
P = 5265 kg : 5 tons

- ตรวจสอบรับแรงอัด/ถอน (Compression/Uplift Capacity Check)

- Section :	0.3*0.3	m*m				
- length :	9	m				
- Area (A) :	0.09	m²				
- Pile Unit Weight :	2.4	t/m³				
- Pile Strength :	350	ksc				
- Pile Perimeter (P) :	1.2	m				
- F.S. :	2.5					
- fs :	38.8	t/m				
- qb :	81.6	t/m²				
- Wp :	1.944	tons				
- Qa :	20.8	tons	>	5	tons	SAFE

CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 6
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

DESIGN

Wall Stem Design

1. Design Parameters
- โมเมนต์ดัดประลัย (Mu) : 2130 kg·m/m 213039 kg·cm/m
- ความหนากำแพง (t) : 15 cm
- ระยะหุ้มคอนกรีต (Covering) : 5 cm
- กำลังอัดคอนกรีต (f'c) : 240 ksc
- กำลังครากเหล็กเสริม (fy) : 4000 ksc (SD40)
- ความกว้างพิจารณาต่อแถบ (b) : 100 cm

2. คำนวณความลึกประสิทธิผล (Effective Depth, d)
Assume DB16 db 1.6 cm
- สูตร
d = t - Covering - DB/2
= 9.2 cm

3. คำนวณปริมาณเหล็กเสริมหลักแนวดิ่ง (Main Vertical Reinforcement)
- หาค่าสัมประสิทธิ์ความต้านทานโมเมนต์ (Rn) :
Rn = Mu/(φm·b·d²)
= 27.97 ksc
- m m = fy/(0.85·f'c)
= 19.61
- หาอัตราส่วนเหล็กเสริมที่ต้องการ (ρ) :

$$\rho = \frac{1}{m}\left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot m \cdot R}{fy}}\right]$$
= 0.00755

- ตรวจสอบปริมาณเหล็กเสริมต่ำสุด (ρmin) :
ρmin = 14/fy
= 0.004
Then ρ 0.00755 > ρmin 0.004 ρ controll
- คำนวณพื้นที่เหล็กเสริมที่ต้องการ (As,req) :
As,req = ρ·b·d
= 6.947 cm²/m

4. Rebar Selection
- As,req 6.947 cm²/m
Asssume
- test DB16
- Area Rebar (A) : 2.01 cm²/เส้น
- Spacing (s) : 28.94 cm
Sum : Select DB16 @ 0.2 m Area : 10.05 cm² O.K.

5. Temperature & Shrinkage Reinforcement
- ρt = 0.0020
- As,temp = ρt·b·d 3 cm²/m
- Select RB9 @ 0.2 m Area : 3.18 cm² O.K.

CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 8
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

DESIGN

Pile Cap F21 Design

1. Design Parameters & Dimensions
- Pu,max (compression) : 19407 kg
- Pu,min (uplift) : -8876.6 kg
- Dimensions Pile: 0.3*0.3 m (D : 0.3 m)
- Pile Spacing (s) : 0.9 m (≥ 3D)
Design Pile Cap :
- width (B) : 1.5 m
- Length (L) : 0.6 m (60 cm)
- Thickness Pile Cap (T) : 0.6 m (60 cm)
- Covering : 0.1 m (10 cm)
- Effective depth (d) : 0.5 m (50 cm)

2. ตรวจสอบแรงเฉือนเสาเข็มเจาะทะลุ (Punching Shear Check)
- Critical Distance (d/2) : 25 cm
- Critical Perimeter (bo) :
bo = 4×(D.P+d)
= 320 cm
- φ 0.85
- Concrete Punching Shear Strength (φVc) :
φVc = φ·1.06· √(f'c)· bo· d
= 35115 kg > Vu 19407 kg O.K.

3. Flexural Reinforcement
- Moment Arm : 0.825 m
- Mu = Pu2×Moment Arm 7323.2 kg·m
- As,req :
Rn = Mu/(φm×b×d²)
= 5.4246 ksc
ρ = 0.0014
ρmin = 0.0035
Then ρmin control 0.0035
As,req = 10.5 cm²

4. Rebar Selection
- As,req 10.5 cm²
Asssume
- test DB16
- Area Rebar (A) : 2.01 cm²/เส้น
- n 5.22 cm ใช้ 8 เส้น
- s @ L= 60 cm 7.5 @ 10 cm
check
- As 16.085 cm² > 10.5 cm² O.K.

Sum : Bottom/Top Rebar DB16 @ 0.1 m
หรือ 8 - DB16

5. Temperature & Shrinkage Reinforcement
- พิจารณาต่อความกว้าง 1 เมตร (b) : 100 cm
- ความหนาเต็มหน้าตัด (T) : 60 cm
- ρt = 0.0018
- As,temp = ρt·b·d 10.8 cm²/m
- Select RB12 @ 0.1 m Area : 11.31 cm² O.K.

CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 9
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

DESIGN

Pile Cap F21 Design

5. รายละเอียดเหล็กเดือย (Dowel Bars)
- แรงดึงประลัย (Tu) : 8876.6 kg
- As,dowel : = Tu/0.9fy 2.47 cm²
Sum :
4 DB-16 As = 8.04 cm² > As,dowel O.K.

CAPSTONE : ออกแบบกำแพงกันดิน

OWNER : ศุภาลัย จำกัด (มหาชน) | DATE: 1/5/2026 | PAGE: 10
LOCATION : ศุภาลัย ไพรัล อนุสาวรีย์ - ป่าคลอก | DESIGN BY :
ออกแบบโดยวิธี วิธีกำลัง (Strength Design Method - SDM / Ultimate Strength Design - USD)

DESIGN

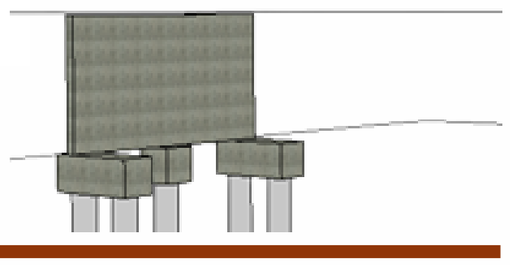
Pile Cap F20 Design

1. Design Parameters & Dimensions
- Pu,max (compression) : 5265 kg
- Dimensions Pile: 0.3×0.3 m (D : 0.3 m)
- Pile Spacing (s) : 0.9 m (≥ 3D)
Design Pile Cap :
- width (B) : 0.6 m (60 cm)
- Length (L) : 0.6 m (60 cm)
- Thickness Pile Cap (T) : 0.6 m (60 cm)
- Covering : 0.1 m (10 cm)
- Effective depth (d) : 0.5 m (50 cm)
- Tributary Length : 1.875 m

2. ตรวจสอบแรงเฉือนเจาะทะลุ (Punching Shear Check)
wall > Pile Cap
- tw 15 cm
- bf 60 cm
- d 50 cm
- T 60 cm
- Critical distance 25 cm

>>no Punching Shear
>>ระยะวิกฤต d/2 (25 ซม.) ทะลุออกนอกขอบฐานราก

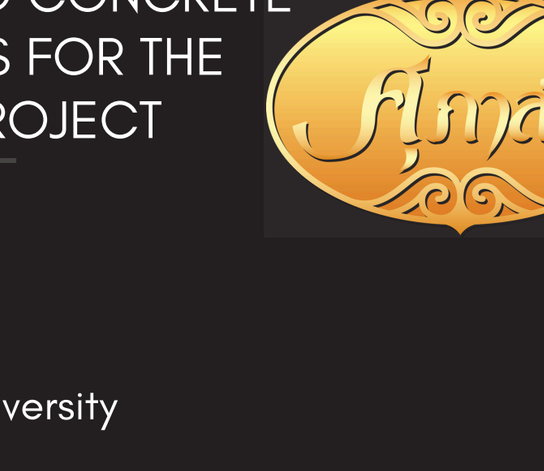
2. การออกแบบเหล็กเสริมในฐานราก (Flexural & Temperature Reinforcement)
เนื่องจากขนาดฐานรากเล็กและไม่มีระยะยื่น
การเสริมเหล็กจึงถูกควบคุมด้วย ปริมาณเหล็กเสริมขั้นต่ำเพื่อกันร้าว (Temperature & Shrinkage)
- พิจารณาต่อความกว้าง 0.6 เมตร (b) : 60 cm
- ความหนาเต็มหน้าตัด (T) : 60 cm
- ρt = 0.0018
- As,temp = ρt·b·d 6.48 cm²/m
- test DB12 A: 1.13 cm²/เส้น req 5.73 use 6
- Select DB12 @ 0.1 m Area : 6.79 cm² O.K.



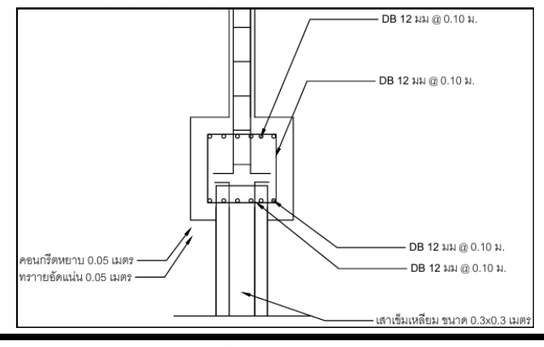
Results

- **Pile Foundation Reactions:**
  - Maximum Compression: 19.4 tons (Pass: < 32.10 tons).
  - Maximum Uplift: 8.88 tons (Pass: < 23.64 tons). Lateral: 3,086 kg per pile (Pass: < 3,283 kg; 94%, governs).
- **Structural RC Detailing:**

Wall Stem:
Double-Pile Cap Foundation (F21):
- Dimensions 0.60 × 1.50 × 0.60 meters



Single-Pile Cap Foundation (F20):
- Dimensions 0.60 × 0.60 × 0.60 meters



BOQ / Cost Estimate

BILL OF QUANTITIES

Project: RC retaining wall on pile foundation, Supalai Pride Phuket (Heroines Monument, Paklok)

No.	Description	Qty	Unit	Material (THB/unit)	Labour (THB/unit)	Amount (THB)
1. Site preparation and earthwork						
1.1	Excavation for footings and wall trench	80.00	m³	0.00	95.00	7,600.00
1.2	Backfill behind wall, compacted in 20 cm layers	50.00	m³	180.00	80.00	13,000.00
1.3	Compacted bedding sand 5 cm under F21	1.22	m³	480.00	120.00	732.00
2. Prestressed concrete piles						
2.1	Prestressed piles 0.30 × 0.30 m, 13.00 m long (54 piles, 27 footings F21)	702.00	m	680.00	0.00	477,360.00
2.2	Pile driving	702.00	m	0.00	280.00	196,560.00
2.3	Pile head cutting and disposal	54.00	piles	0.00	350.00	18,900.00
3. Concrete and formwork						
3.1	Lean concrete 1:3:5, 5 cm under F21	1.22	m³	1,850.00	350.00	2,684.00
3.2	Structural concrete f'c = 240 ksc, footings F21	14.58	m³	2,350.00	400.00	40,095.00
3.3	Structural concrete f'c = 240 ksc, wall stem	33.00	m³	2,400.00	450.00	94,050.00
3.4	Formwork, footings F21 (reused)	68.04	m²	320.00	180.00	34,020.00
3.5	Formwork, wall stem both faces (reused)	440.00	m²	350.00	220.00	250,800.00
4. Reinforcement						
4.1	Deformed bars DB16 SD40, wall and F21 mesh	6,735.00	kg	26.50	4.80	210,805.50
4.2	Round bars RB9 SR24, horizontal crack control	1,098.00	kg	27.00	5.20	35,355.60
4.3	Epoxy-anchored dowels DB16 (4 per pile head, 27 footings)	216.00	points	120.00	80.00	43,200.00
5. Fence and drainage						
5.1	Block wall 7 cm with RC capping beam, painted	100.00	m	950.00	450.00	140,000.00
5.2	PVC weep holes Ø2 in with filter	50.00	points	85.00	65.00	7,500.00
				Direct cost (materials + labour)		1,572,662.10
				Factor F (overhead, profit and tax)	15%	235,899.32
				GRAND TOTAL		**1,808,561.42**
				Cost per 1 m of wall (100 m)		**18,085.61**

Conclusions and Recommendations

- **Conclusions:** The structural system successfully converts the critical overturning moment into vertical couple forces. The selected 0.30 x 0.30 m driven piles efficiently resist the 19.4-ton compression and 8.88-ton uplift loads, providing an optimal and safe design solution without exceeding allowable limits.
- **Recommendations:** Strict on-site quality control is highly recommended during the installation of the epoxy dowel bars in the F21 footing to guarantee the structural integrity of the uplift load transfer mechanism.

Key Courses Used in the Project

- **Soil Mechanics & Foundation Eng.:** For evaluating active earth pressures and pile capacities.
- **Structural Analysis & RC Design:** For load distribution mechanisms and detailing structural members.
- **Engineering Drawing & BIM:** Utilized AutoCAD for precise 2D construction drawings and Autodesk Revit for 3D reinforcement models.