



FACULTY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY  
BACHELOR THESIS

Study programme / specialisation:  
Byggingeniør / Konstruksjonsteknikk

The spring semester, 2022

Authors:  
Christian Berntsen

Open / Confidential

*C. Berntsen*  
.....  
(signature author)

Zagros Ebrahimian Kanirash

*Z. Kanirash*  
.....  
(signature author)

Course coordinator:  
Sudath C. Siriwardane

Supervisor(s):  
Mudiyan Nirosha Damayanthi Adasooriya

Thesis title:  
Refundamentering av gamle kjellere i Rogaland

Credits (ECTS): 20

Keywords:

- Rehabilitering
- Refundamentering
- Rogaland
- Grunnmur
- Fundament

Pages: ...*64*.....

+ appendix: ...*13*.....

Stavanger, *14.05.2022*  
.....  
date/year



## Sammendrag

I oppgaven tar vi rede for fremgangsmåten for refundamentering av grunnmurer. Alt fra regelverk, risikoer til grunnarbeid, betongarbeid og varmetapsberegninger er inkludert i oppgaven. Refundamentering av grunnmurer er ikke uten risiko og bør ikke gjennomføres av ufaglært personell. Kjellerveggene er avhengig av kjellergulvet som støtte mot jordtrykket. Det er her viktig at kjellergulvet ikke fjernes for eventuell senkning før avlasting av kjellerveggene, i form av utgraving helt ned til fundamentnivå og fjerne eksisterende masser. I verste fall kan jordtrykket presse kjellerveggene inn under arbeidet og kollapse kjeller og overliggende bolig. En slik oppgraving gir også flere muligheter, som blant annet muligheten for å legge om dreneringen rundt om huset, ordne en god fuktsikring og varmeisolering på yttersiden. For å skape en lav risiko på arbeidsplassen, må arbeidsprosedyren følges i denne rekkefølgen:

1. Vegger med oppfylling avlastes for jordtrykk ved utvendig oppgraving.
2. Eventuelt betonggulv fjernes.
3. Veggen undergraves seksjonsvis til planlagt dybde og støpes.
4. Det graves innvendig til planlagt nivå.
5. Gulvkonstruksjonen bygges opp, med drenslag, isolasjon, radonduk og gulvstøp.
6. Eventuelle manglende innvendige støttevegger mures opp.
7. Utvendig drenering, fuktsikring, isolering og tilbakefylling utføres.
8. Man foretar en eventuell innvendig isolering og innredning i kjeller.

Avvik fra den beskrevne arbeidsprosedyren bør utredes av fagfolk i den enkelte byggesaken.

## Appendix

In the thesis, we explain the procedure for re-foundation foundations. Everything from regulations and risks to groundwork, concrete work and heat loss calculations are included in the thesis. Refunding of foundations is not without risk and should not be carried out by unskilled personnel. The basement walls depend on the basement floor to support the earth pressure. It is important here that the basement floor is not removed for any lowering before relieving the basement walls, in the form of excavation all the way down to the foundation level and removing existing masses. In the worst case, the earth pressure can push the basement walls in during the work and collapse the basement and the overhead dwelling. Such an excavation also provides several possibilities, such as the possibility of changing the drainage around the house and arranging good moisture protection and thermal insulation on the outside. To create a low risk in the workplace, the work procedure must be followed in this order:

1. Walls with backfill are relieved of earth pressure during external excavation.
  2. Any concrete floor is removed.
  3. The wall is excavated in sections to the planned depth and cast.
  4. Dig inside to the planned level.
  5. The floor construction is built up, with drainage, insulation, radon cloth and floor casting.
  6. Any missing internal retaining walls are walled up.
- External drainage, moisture protection, insulation and backfilling are performed.
8. Any interior insulation and furnishing in the basement is carried out.

Deviations from the described work procedure should be investigated by professionals in the individual construction case.

# Innholdsfortegnelse

<b>FORORD</b> .....	<b>7</b>
<b>I. LISTER</b> .....	<b>8</b>
<b>I. FIGURLISTE</b> .....	<b>8</b>
<b>II. TABELLISTE</b> .....	<b>8</b>
<b>III. FORMELLISTE</b> .....	<b>9</b>
<b>II. SYMBOL OG BOKSTAVBESKRIVELSE</b> .....	<b>10</b>
<b>I. GRESKE BOKSTAVER</b> .....	<b>10</b>
<b>II. STORE LATINSKE BOKSTAVER</b> .....	<b>11</b>
<b>III. SMÅ LATINSKE BOKSTAVER</b> .....	<b>13</b>
<b>IV. FORKORTELSER</b> .....	<b>14</b>
<b>V. SYMBOLER</b> .....	<b>14</b>
<b>1. INNLEDNING</b> .....	<b>15</b>
1.1. MÅL FOR OPPGAVEN .....	15
1.2. FREMGANGSMÅTE .....	15
1.3. OPPGAVEN SIN OPPBYGNING .....	15
<b>2. REGELVERK OG UNDERSØKELSER</b> .....	<b>16</b>
2.1. REGELVERK .....	16
2.1.1. Søknadsplikt .....	16
2.1.2. Statlige bestemmelser .....	16
2.1.3. Kommunale bestemmelser .....	16
2.2. GRUNNLAG OG RISIKO .....	17
2.2.1. Generelt .....	17
2.2.2. Tilstandskontroll .....	17
2.2.3. Romhøyde og gravedybde .....	17
2.2.4. Drenering og fuktsikring .....	18
2.2.5. Setningsskader .....	18
2.2.6. Nabobygg .....	19
2.2.7. Fundament .....	19
2.2.8. Grunnens bæreevne .....	19
2.2.9. Risiko .....	19
2.2.10. Rekkefølge .....	20
<b>3. BYGGEGRUNN OG TERRENG</b> .....	<b>20</b>
3.1. BYGGEGRUNN .....	20
3.2. STABILITET .....	22
3.3. BÆREEVNE .....	23
3.4. JORDTRYKK .....	25
<b>4. GULVKONSTRUKSJON</b> .....	<b>31</b>
4.1. AVLASTNING AV JORDTRYKK VED UTVENDIG OPPGRAVING .....	31
4.2. INNVENDIG AVSTIVING .....	31
4.3. FJERNING AV GULVKONSTRUKSJON .....	32
<b>5. BETONGVEGG MOT TERRENG</b> .....	<b>33</b>
5.1. GENERELT .....	33
5.2. BETONG .....	33
5.2.1. Dimensjonering av vegger .....	33
5.3. ARMERING .....	33
5.3.1. Armeringsmengde .....	34
5.4. FORSKALING .....	38
5.4.1. Generelt .....	38

5.4.2.	Støp .....	38
<b>6.</b>	<b>UNDERSTØPING AV VEGGER .....</b>	<b>39</b>
6.1.	GENERELT .....	39
6.2.	FJERNING AV MASSER.....	39
6.3.	NY GULVKONSTRUKSJON .....	39
<b>7.</b>	<b>RADON .....</b>	<b>41</b>
7.1.	HVA ER RADON?.....	41
7.2.	HELSEFARE .....	41
7.3.	TILTAKSGRENSE .....	41
7.4.	TILTAK .....	41
7.4.1.	<i>Generelt</i> .....	41
7.4.2.	<i>Gulv</i> .....	42
7.4.3.	<i>Vegger</i> .....	42
7.4.4.	<i>Radonbrønn</i> .....	42
<b>8.</b>	<b>LASTFORDELING .....</b>	<b>43</b>
8.1.	GENERELT .....	43
8.2.	LAFT.....	43
8.3.	BINDINGSVERK.....	46
8.4.	PUNKTBÆRING .....	47
8.5.	STÅLDRAGER.....	47
<b>9.</b>	<b>ISOLASJON OG TETTING AV YTTERVEGG MOT TERRENG.....</b>	<b>49</b>
9.1.	GENERELT .....	49
9.2.	VARMEISOLERING .....	49
9.3.	MATERIALER.....	51
9.4.	VARMETAP OG KULDEBRO .....	53
9.4.1.	<i>Generelt</i> .....	53
9.4.2.	<i>Gulvisolasjon</i> .....	53
9.4.3.	<i>Forhold i grunn som påvirker varmetap</i> .....	53
9.4.4.	<i>Grunnens fysiske og termiske egenskaper</i> .....	53
9.4.5.	<i>Overvann og sigevann</i> .....	54
9.4.6.	<i>Utregninger</i> .....	54
<b>10.</b>	<b>PROSJEKT.....</b>	<b>59</b>
10.1.	INTRODUKSJON.....	59
10.2.	GRUNNFORHOLD .....	59
10.3.	MIDLERTIDIG BÆRING .....	61
10.3.1.	<i>Snølast</i> .....	62
10.3.2.	<i>Sum bjelkelag etasje 1 og 2</i> .....	63
10.3.3.	<i>Sum bjelkelag tak</i> .....	64
10.3.4.	<i>Lastfordeling på kortsiden</i> .....	66
10.3.5.	<i>Lastfordeling på langsiden</i> .....	67
10.4.	FJERNING AV GAMMEL GRUNNMUR .....	68
10.5.	NY KJELLERVEGG / GRUNNMUR .....	70
10.6.	ISOLERING OG TETTING .....	72
<b>11.</b>	<b>KONKLUSJON.....</b>	<b>73</b>
<b>12.</b>	<b>STANDARDE.....</b>	<b>74</b>
<b>13.</b>	<b>BIBLIOGRAFI.....</b>	<b>75</b>
<b>14.</b>	<b>AKTUELLE VEDLEGG.....</b>	<b>77</b>

## **Forord**

I Rogaland finnes det flere gamle hus. De fleste er nyoppussede, men står på dårlige og utdaterte grunnmurer og krypkjellere. Dette kan by på mange problemer, siden gamle og utdaterte grunnmurer ofte fører til bevegelser i bygget som videre kan resultere i kostbare skader. Ved refundamentering og eventuell senkning av kjellergulvet, vil man sitte igjen med en moderne grunnmur og kjellergulv som er godt isolert og radonsikkert.

Vi vil rette en spesiell takk til Rogaland Bygg & Betong AS, som har vært essensiell under oppgaveskrivingen med veiledning og deling av informasjon. Vi vil også takke vår veileder og tidligere foreleser Mudiyan Nirosha Damayanthi Adasooriya for å ha støttet og hjulpet oss med oppgaven.

# I. Lister

## i. Figurliste

Figur 1: Prinsippskisse for skråningsstabilitet .....	22
Figur 2: Bæreevne for sentrisk vertikallast, totalspenninger.....	24
Figur 3: Forankret spuntvegg .....	26
Figur 4: Aktiv jordtrykkskoeffisient, $K_a$ , for ulike materialer.....	27
Figur 5: Avlastning av jordtrykket mot veggene med utvendig oppgraving .....	31
Figur 6: Avstiving av eksisterende fundament på fjellgrunn .....	32
Figur 7: Plassering av armering i senterarmerte vegger.....	35
Figur 8: Plassering av armering ved dobbelarmerte vegger.....	36
Figur 9: Gulvkonstruksjon .....	40
Figur 10: Konstruksjon før byggeprosessen.....	44
Figur 11: Bygget er flyttet og plassert på ståldragere som midlertidig bæring.....	44
Figur 12: Bygget er heiset tilbake og plassert på midlertidig bæring .....	45
Figur 13: Bygg plassert på permanent bæring 1 .....	45
Figur 14: Bygg plassert på permanent bæring 2 .....	46
Figur 15: Eksempel bindingsverk .....	46
Figur 16: Eksempel 1 for midlertidig bæring ved hjelp av ståldrager .....	48
Figur 17: Eksempel 2 for midlertidig bæring ved hjelp av ståldrager .....	48
Figur 18: Betongvegg variant 1.....	50
Figur 19: Betongvegg variant 2.....	50
Figur 20: Betongvegg variant 3.....	51
Figur 21: Betongvegg variant 4.....	51
Figur 22: Betongvegg variant 5.....	51
Figur 23: Grunnmurplate festet mot konstruksjon .....	52
Figur 24: Kart av området, ngu.no .....	59
Figur 25: Zoom av figur 24 som viser eiendommen.....	59
Figur 26: Kart over fjellmasser, ngu.no .....	60
Figur 27: Kart over løsmasser, ngu.no .....	60
Figur 28: Midlertidig bæring 1 .....	61
Figur 29: Midlertidig bæring 2.....	61
Figur 30: Midlertidig bæring 3 .....	62
Figur 31: Gammel grunnmur.....	69
Figur 32: Riving av gammel grunnmur.....	69
Figur 33: Forskalingskassetter 1 .....	70
Figur 34: Forskalingskassetter 2 .....	70
Figur 35: Ny kjellervegg 1 .....	71
Figur 36: Ny kjellervegg 2 .....	71
Figur 37: Ny kjellervegg 3 .....	71
Figur 38: Ny kjellervegg 4 .....	72
Figur 39: Isolering og tetting av kjeller.....	72

## ii. Tabelliste

Tabell 1: Fraksjonsinndeling av mineralske jordarter.....	21
Tabell 2: Maksimal tillatt spenning for ulike jordarter .....	23
Tabell 3: Horisontalt jordtrykk mot kjellervegg .....	29
Tabell 4: Avstand mellom liggende armering.....	34
Tabell 5: Senteravstand mellom stående armeringsjern.....	35



Tabell 6: Høyeste gjennomsnittlige U-verdi i oppvarmede bygg .....	50
Tabell 7: U-verdi for 200 mm tykk betongvegg mm tykk EPS .....	54
Tabell 8: Oversikt over varmeledningsevnen for ulike grunntyper .....	55
Tabell 9: Kvadratmeter last .....	62

### iii. Formelliste

Formel 1: Forenklet bestemmelse av materialfaktoren .....	22
Formel 2: Bæreevne for sentrisk vertikallast, totalspenninger .....	24
Formel 3: Effektiv vertikalspenning .....	27
Formel 4: Vertikalt trykk grunnet midlertidig last .....	28
Formel 5: Totalt vertikalt trykk .....	28
Formel 6: Effektivt trykk grunnet midlertidig last .....	28
Formel 7: Passivt og aktivt horisontalt trykk .....	28
Formel 8: Tangens for friksjonsvinkel delt på sikkerhetsfaktor for grunn .....	28
Formel 9: Passivt trykk mot kjellerveggen .....	28
Formel 10: Utregning av overdekket .....	34
Formel 11: Minimum horisontal avstand mellom armeringsjern .....	36
Formel 12: Minimum vertikal avstand mellom armeringsjern .....	36
Formel 13: Utregning for nødvendig armering .....	36
Formel 14: Senteravstand mellom armeringsjern .....	37
Formel 15: Varmeoverføringskoeffisienten via grunn .....	55
Formel 16: Karakteristisk dimensjon for gulv mot grunn .....	55
Formel 17: Total ekvivalent tykkelse .....	56
Formel 18: U-verdi fra grunn for uisolert til moderat isolert vegg .....	56
Formel 19: U-verdi fra grunn for godt isolert vegg .....	56
Formel 20: Tilsvarende tykkelse for kjellervegg .....	56
Formel 21: U-verdi for kjellervegg mot grunn, inkludert effekt fra terreng .....	57
Formel 22: U-verdi for gjennomsnittlig varmetap for hele kjelleren .....	57
Formel 23: Modifisert versjon for Formel 9 for å være gjellende for flater mot terreng .....	58
Formel 24: Snølast kalkulasjon .....	62
Formel 25: 6.10 a) .....	63
Formel 26: 6.10 b) .....	63
Formel 27: 6.10 a) bjelkelag 1 og 2 .....	64
Formel 28: 6.10 b) bjelkelag 1 og 2 .....	64
Formel 29: 6.10 a) tak .....	64
Formel 30: 6.10 b) tak .....	65
Formel 31: Areal for etasjene .....	65
Formel 32: Areal for vegg kortside på bolig med mønetak .....	66
Formel 33: Maks avstand mellom søyler .....	67
Formel 34: Areal for vegg på langside .....	67
Formel 35: Maks avstand mellom søyler .....	68

## II. Symbol og bokstavbeskrivelse

### i. Greske bokstaver

$\alpha$	Takvinkel for bygget, i grader
$\beta$	Skråningsvinkel
$\Delta C_{dev}$	Tillegg forsikring av tilstrekkelig overdekke (10 mm)
$\pi$	Pi (3,14)
$\gamma$	Jordartens romvekt, i kN/m <sup>3</sup>
$\gamma_f$	Lastkoeffisienten for tyngdetetthet
$\gamma_G$	Sikkerhetsfaktor for egenlast
$\gamma_m$	Materialfaktor
$\gamma_{m,1}$	Materialkoeffisient
$\gamma_s$	Sikkerhetsfaktor for stål
$\gamma_l$	Romvekt av leire
$\gamma_Q$	Sikkerhetsfaktor for nyttelast
$\gamma_w$	Vannets romvekt, i kN/m <sup>3</sup>
$\lambda_g$	Termisk konduktivitet for grunnen, i W/(m*K)
$\sigma_{A1}$	Det aktive jordtrykket
$\sigma_{A1}'$	Det aktive horisontaltrykket
$\sigma_{A2}'$	Det aktive horisontaltrykket
$\sigma_d$	Referansespenning
$\sigma_{p1}$	Det passive jordtrykket mot kjelleren
$\sigma_{v1}'$	Det effektive vertikalktrykket
$\sigma_{v2}'$	Det effektive vertikalktrykket
$\sigma_{v3}'$	Det effektive vertikalktrykket
$\psi$	Karakteristisk friksjonsvinkel for grunn
$\psi_{wf}$	Lineær termiske overførsel fra gulv/vegg kryss, i W/(m <sup>2</sup> *K)
$\psi_{w:f}$	Innvendig termisk overføring for møte mellom vegg og gulv
$\psi_0$	Faktor for bygginger, gitt i NS-EN 1990:2002/NA:2008

## ii. Store latinske bokstaver

A	Arealet for gulvet, i m <sup>2</sup>
A <sub>S</sub>	Nødvendig armering
A <sub>1</sub>	Fundamentareal
A <sub>10</sub>	Areal for kam10 armeringsjern
A <sub>12</sub>	Areal for kam12 armeringsjern
B	Bredde
B <sub>1</sub>	Bredde på bolig, i m
B <sub>2</sub>	Karakteristiske dimensjonen for gulvet, i m
Bq/m <sup>3</sup>	Bequerel per kubikkmeter
C <sub>e</sub>	Faktor for topografiske endringer, NS-EN 1991-1-3:2003+NA2008 Tabell NA.5.1
C <sub>k</sub>	Faktor for spesielle forhold
C <sub>min</sub>	Minimum overdekke
C <sub>min,b</sub>	Minimum overdekke som følge av armering
C <sub>min,dur</sub>	Minimum overdekke som følge av varighet
C <sub>nom</sub>	Minimum overdekke sikkerhetsfaktor
C <sub>u</sub>	Udrenert skjærstyrke (tidligere S <sub>u</sub> )
CC	Senteravstand mellom armeringsjern
D	Dybde
G <sub>gulv</sub>	Egenlast gulv
G <sub>k</sub>	Karakteristisk egenlast
G <sub>vegg</sub>	Egenlast vegg
H	Høyde
H <sub>g</sub>	Varmeoverføringskoeffisienten via grunnen, i W/K
H <sub>w</sub>	Grunnvannstandens høyde
H <sub>1</sub>	Skråningens høyde
H <sub>2</sub>	Høyden av jord over fundamentnivå
H <sub>3</sub>	Høyde fra bunn 1. Etasje til bunn mønetak
H <sub>4</sub>	Høyde fra bunn til topp mønetak
K <sub>a</sub>	Den aktive jordtrykkskoeffisienten
K <sub>p</sub>	Den passive jordtrykkskoeffisienten
M <sub>Ed,1</sub>	Moment fra horisontalt jordtrykk
N	Newton

L	Lengde
$L_1$	Lengde på bolig, i m
$N_c$	Bæreevnefaktor
$N_0$	Stabilitetstall
P	Eksponeerte perimeter fra gulv, i m
S	Snølast
$S_k$	Faktor for høyde, gjeldende dersom $H < H_g$
$S_{k,o}$	Snøfaktor på bakken, NS-EN 1991-1-3:2003+NA2008
$S_1$	Maks bæreevne per søyle
S4	Synk-klasse 4
P	Eksponeerte perimeter fro gulvet, i m
Q	Nyttelast
$Q_k$	Karakteristisk nyttelast
$Q_1$	Last på fundament fra bygningen
$R_{f,sog}$	Termisk mostand for indre overfalte, i $m^2 \cdot K/W$
$R_{si}$	Termisk motstand fra gulvet, inkludert alle lag med isolasjon over, under eller inni gulvet, og eventuelt gulvdekke, i $m^2 \cdot K/W$
$R_{se}$	Termisk mostand for ytre overfalte, i $m^2 \cdot K/W$
$R_{si}$	Termisk motstand fra gulvet, inkludert alle lag med isolasjon over, under eller inni gulvet og eventuelt gulvdekke, i $m^2 \cdot K/W$
$R_{w;b}$	Total ekvivalent tykkelse, i m
U	Termisk overføring mellom indre og ytre miljø, i $W/(m^2 \cdot K)$
$U_i$	Faktor for takvinkel, NS-EN 1991-1-3:2003+NA2008 Tabell NA.5.1
$U_{bg,eff}$	U-verdi for gjennomsnittlig effekt for hele kjelleren
$U_{fg;b}$	U-verdi fra grunn for uisolert til moderat isolert vegg / for godt isolert vegg
$U_{w;b}$	Tilsvarende tykkelse for kjellervegg, i m
$U_{wg;b}$	U-verdi for kjellervegg mot grunn, inkludert effekt fra terreng
$U_1$	U-verdi for gulv
W/mK	Watt per meter kelvin
$\varnothing_L$	Diameter av armeringsjern
$\varnothing_s$	Diameter for skjærarmering

### iii. Små latinske bokstaver

a	Attraksjon
$a_h$	Minimum horisontal avstand mellom armeringsjern
$a_v$	Minimum vertikal avstand mellom armeringsjern
b	Bredde av område under trykk
$c_u$	Udrenert skjærstyrke (tidligere $s_u$ )
$d_f$	Total ekvivalent tykkelse, i m
$d_{w;b}$	Tilsvarende tykkelse for kjellervegg, i m
$d_{w;c}$	Hele tykkelsen på veggen, inkludert alle lag, i m
$f_{ck}$	Betongens karakteristiske sylindertykkfasthet etter 28 døgn
$f_y$	Strekkfasthet
h	Tykkelse på gulv
$h_1$	Tykkelse av område under trykk
kN	Kilonewton
kN/m	Kilonewton per meter
kN/m <sup>2</sup>	Kilonewton per kvadratmeter
kN/m <sup>3</sup>	Kilonewton per kubikkmeter
l	Lengde
$p_a$	Det totale jordtrykket
$p_v$	Den effektive vertikalspenningen
$p_w$	Poretrykk (følge av grunnvannstanden)
$p'_a$	Det aktive jordtrykket
$p'_v$	Det effektive jordtrykket
$p_1$	Utvendig last (spenning fra jord over fundamentnivå)
$q_1$	Dimensjonerende last på topp av skråning
$q_2$	Tillat bæreevne
$q_k$	Tilleggslast mot grunn
r	Friksjonsfaktor for betongveggenes ruhet
m	Meter
m <sup>2</sup>	Kvadratmeter
m <sup>3</sup>	Kubikkmeter
mm	Millimeter
m <sup>2</sup> K/W	Kvadratmeter kelvin per watt
z	Dybden ned i jordlaget (i meter)

z<sub>1</sub>            Indre momentarm

#### **iv. Forkortelser**

EPS	Ekspandert polystyren (isopor)
f.eks.	For eksempel
Ifht	I forhold til
Iht	I henhold til
Maks / Max	Maksimum
Min	Minimum
pbl	Plan- og bygningsloven
SAK	Forskrift om saksbehandling og kontroll
TEK	Teknisk forskrift til plan- og bygningsloven med veiledning
TEK17	Byggeteknisk forskrift om tekniske krav til byggverk
WHO	World Health Organization
XPS	Ekstrudert polystyren

#### **v. Symboler**

%	Prosent
°	Grader
°C	Grader celsius
$\sqrt{x}$	Kvadrattrot

# **1. Innledning**

## **1.1. Mål for oppgaven**

Ved denne oppgaven ønsker vi å løfte frem og vise refundamentering av gamle grunnmurer som et nytt og bedre alternativ sammenlignet med den tradisjonelle understøpsmetoden. Oppgaven viser hele prosessen og er oppbygget på en slik måte at den skal kunne brukes som en sjekklister ved utførelse. Samtidig skal den være en introduksjon og forklaring for individer som leter etter alternativ til rehabiliteringer av grunnmur og kjellere. Det er derfor naturlig å bygge opp oppgaven i den rekkefølgen prosjektet bør gjennomføres i.

## **1.2. Fremgangsmåte**

Ved valg av oppgave i vinter så tok vi kontakt med totalentreprenøren Rogaland Bygg & Betong AS, som var villige i å la oss skrive en oppgave for dem angående refundamentering av gamle grunnmurer i Rogaland. Etter å ha blitt tildelt oppgaven av UiS begynte vi arbeidet.

Vi satte av de tre første månedene til undersøkelser og samling av informasjon. Under denne prosessen lagde vi en oversikt over hva vi ønsket å ha med i bacheloroppgaven. Dette gjaldt alt fra grunnteorier til kalkulasjoner på bygg. Når vi hadde funnet tilstrekkelig informasjon begynte vi å skrive oppgaven. Skrivningen tok rundt halvannen måned. Gjennom denne skriveperioden ble enkelte emner gitt mer plass og andre ble enten delvis eller helt fjernet. Vi anslo i begynnelsen at sannsynligheten for at endringer kunne skje ville være høy, så det var ikke noe særlig problematisk i etterkant. Under revideringsprosessen, som varte hele veien mot slutten, så gikk det hovedsakelig i retning for å gjøre teksten lettere å lese og mer behagelig for øyet.

## **1.3. Oppgaven sin oppbygning**

Oppgaven er bygget opp i den rekkefølgen det vil vært naturlig å gjennomføre stegene i. Dette er gjort for at den skal kunne brukes i praktiske sammenhenger. Gjerne for mindre aktører eller individer som kan være interessert i å gjennomføre prosessen, men som ikke har tilstrekkelig kunnskap til å alene sette seg inn i hva dette vil innebære. Det er i slutten lagt til et eksempel på et ferdigstilt prosjekt gjennomført av Rogaland Bygg & Betong AS som er vår samarbeidspartner i denne oppgaven.

## 2. Regelverk og undersøkelser

### 2.1. Regelverk

#### 2.1.1. Søknadsplikt

Endringer som refundamentering, endring av branncellebegrensede bygningsdeler, bruks- og fasadeendringer er etter SAK. søknadspliktige. Dersom man skal senke gulvet uten refundamentering, kan man avklare med kommunen om dette kan fritas fra søkeplikten.

Denne avklaringen må derimot gjennomføres for hvert enkelttilfelle. Enkelte endringer som å sette opp eller å fjerne ikke-bærende vegger innenfor en branncelle er fritatt fra søkeplikten.

Eier av bygget står alltid ansvarlig for at de ulike bestemmelsene i pbl, TEK, de kommunale vedtektene og reguleringsbestemmelsene blir fulgt.

I denne teksten anses ikke-bærende vegger for vegger som ikke bærer golvbjelkelag eller takkonstruksjoner. Det skal påpekes at disse ikke-bærende veggene bærer laster som last fra innervegger i overetasjen, gitt at huset består av flere etasjer. Dersom terrengnivået skal endres, er det som oftest fritatt fra søknadsplikt. Dette gjelder da hovedsakelig inntil 1,0 m eller 0,5 m ved rekke- eller kjedehus.

#### 2.1.2. Statlige bestemmelser

Plan- og bygningsloven og TEK har standardiserte krav som må følges og omhandler alt fra rømningsveier til dagslys i et rom. Disse kravene gjelder ikke bare i boligrom, men også for kjellerrom som blir tatt i bruk. I følge *Byggforskserien 727.155<sup>1</sup>* så har det seg slik at «*dersom et eksisterende byggverk er i strid med dagens bestemmelser og man skal foreta endringer på det, er det i noen tilfeller ikke krav om at dagens bestemmelser skal oppfylles, men endringene skal ikke føre til at byggverket kommer mer i strid med bestemmelsene enn det allerede er (pbl § 87)*»<sup>2</sup>.

#### 2.1.3. Kommunale bestemmelser

Kommunale vedtekter og reguleringsbestemmelser har muligheten til å bestemme hvordan man kan utnytte kjellere ved å begrense adgangen til boligformål. Dersom takhøyden blir økt til 1,9 m eller høyere, blir kjelleren ansett som et måleverdig areal. Dette betyr da at kjelleren blir tatt med i beregningen av tillat grad av utnytting av eiendom, noe som kan gi et

---

<sup>1</sup> [6, 12 Statlige bestemmelser]

<sup>2</sup> [7, Plan- og bygningsloven §87]



arealforbruksmessig og en økonomisk fordel for eieren av eiendommen. Om man senker det utvendige terrengnivået, kan dette påvirke arealfaktoren for beregningen av den tillatte graden av utnytting. Dette kan da føre til at statusen til kjelleren blir endret til en sokkeletasje, noe som kan gi konsekvenser i forhold til ulike reguleringsbestemmelser og kommunale avgifter.

## **2.2. Grunnlag og risiko**

### **2.2.1. Generelt**

Dersom man skal begynne med refundamenteringsarbeid, må det vurderes hvilken metode som er best egnet. Denne metoden velges hovedsakelig ut fra undersøkelser. Disse undersøkelsene baserer seg på husets konstruksjons og lastfordeling, risiko for skade på nærliggende bygninger og anlegg, samt risikoen for skade på huset ved fremtidige endringer på og rundt om på tomten. I denne delen skal det gjennomgå enkelte undersøkelser som er viktige før man begynner utføringsdelen av prosjektet.

### **2.2.2. Tilstandskontroll**

Når man gjennomfører en tilstandskontroll, begynner man hovedsakelig med å vurdere fundamenteringens tilstand etter å ha tatt en befarings av bygningen. Dette gjør man ved å gå gjennom fundamenttegninger. Om det registreres setningsskader eller andre synlige skader, må det gjennomføres nærmere undersøkelser. Disse undersøkelsene må kartlegge årsaken til skadene og fastslå hvilke tiltak som må til for å utbedre dem. Tilstandsrapporten som kommer frem av disse undersøkelsene kan inneholde studier av eventuelle tegninger, grunnundersøkelser, undersøkelser av materialer og konstruksjoner, tidligere registreringer av setninger og lastberegninger.

Etter en slik rapport tar man ofte stilling til tilstanden til fundamenteringen, altså om fundamenteringen/bygget bør utbedres eller rives. En refundamentering eller omfattende reparasjon av fundamenteringen er svært kostbart, og det må tas en svært grundig vurdering på forhånd. Dersom det er et større refundamenteringsarbeid som skal bli utført, krever det faglig ekspertise for å vurdere de geotekniske og byggetekniske forholdene.

### **2.2.3. Romhøyde og gravedybde**

Når aktuelle høyder og dybder skal bestemmes, blir det satt i forhold til et referansenivå. Et slikt referansenivå bør ligge i lik høyde som et vindu i kjelleren slik at referansehøyden er

tilgjengelig fra inn- og utsiden. Ved å endre himlingen basert på den ønskede romhøyde, kan man bestemme hva det nye nivået for gulv, fundamenter og drenering skal være. Gulvet kan også senkes, så lenge minsteavstanden til dreneringens vanninntak er tatt hensyn til.

#### **2.2.4. Drenering og fuktsikring**

Om man skal undersøke eksisterende drenering og fuktsikring, bør det graves opp lokalt fra utsiden for å unngå setningsbrudd. Etter å ha gravet opp bør det utføres en tilstands- og utførelseskontroll av veggens overflatebehandling, som puss og eventuelle grunnmurplater. Målet med disse undersøkelsene er å sikre at grunnmuren holdes så tørr som mulig.

Når det gjelder drensledningen, så skal dybden registreres. Ledninger skal også åpnes lokalt slik at man kan undersøke om den inneholder avleiringer. Dersom huset er gammelt, kan det være mulig at huset ikke har en drensledning. Kjellerveggene på slike hus kan likevel være tørre. Grunnen til dette kan være at det er fuktvandring i veggene, men fuktigheten fordamper da fra veggen hurtigere enn hva den blir tilført. Om man legger innkledning av en slik vegg så kan det føre til store fuktproblemer dersom det ikke ligger en utvendig drensledning<sup>3</sup>. For å se om massene langs veggen samt fyllingsmassene rundt om ledningen er tilstrekkelig drenerende, må det vurderes eller måles i et laboratorium.

#### **2.2.5. Setningsskader**

Når det kommer til litt eldre bygninger, kan det hende at det finnes gamle setningsskader. Dersom setningene har stanset eller utvikler seg meget sakte, kan det være mulig å akseptere en mild grad av skjevheter og sprekker. Dette gjelder bare om setningsproblemene kan håndteres ved regelmessig vedlikehold. Bygninger laget av tre og mur tåler som oftest store skjevsetninger uten at det skal være nødvendig med refundamentering. Når det derimot gjelder flåtefundamentering, et utvidet fundament som fordeler belastningene over en større flate, er det viktig å kontrollere at grunnvannsstanden ikke har sunket under den kritiske grensen. Dersom den har gjort det, kan fundamenteringen ta skade av setningene.

Under en refundamenteringsprosess hvor bygget har skjevheter, kommer ofte spørsmålet om å rette opp skjevhetene. I trehus er en slik oppretting ofte mulig ved en oppjekkning. Murte

---

<sup>3</sup> [9, 37 Drensledning]

konstruksjoner er mer vrient å fikse, siden slike konstruksjoner er svært ømfintlige for bevegelser. Det er derfor anbefalt å ikke rette opp konstruksjoner som er bygget i mur.

### **2.2.6. Nabobygg**

Refundamentering av en bygning må alltid vurderes i en større sammenheng, siden en refundamentering kan gi setninger på nabobygninger. Dersom dette ikke tas i betraktning, kan setninger som fremdeles setter seg ved nabobygningene henge seg opp i den refundamenterte bygningen.

### **2.2.7. Fundament**

Fundament, fundamentmateriale og fundamentdybde må undersøkes. Dette kan gjøres ved å hugge opp gulvet innenfra ved ytterveggen og grave ned til underkanten av fundamentsålen. Om dette gjøres kan også gulvkonstruksjonens oppbygning undersøkes. Dersom fundamentet og dreneringen skal senkes, bør det bare fortsettes å grave nedover til man når den planlagte gravedybden. Med denne teknikken kan også massens bæreevne vurderes.

Videre kan grunnvannstanden vurderes ved å bruke et perforert rør hvor vannstanden kan anslås. Det skal derimot påpekes at grunnvannsstanden har årsmessige ulikheter, hvor den for eksempel er lavest om vinteren. Dersom grunnvannstanden er for nær utgravingsnivået, er det høyst anbefalt å registrere grunnvannstanden jevnt over et eller flere år slik at en får et anslag på hva den høyeste grunnvannstanden kan være.

### **2.2.8. Grunnens bæreevne**

Det er mange måter å undersøke grunnens bæreevne. En måte er å slå et spett ned i grunnen ved veggfundamentet, enten på innsiden eller på utsiden. Om fundamentet skal senkes bør grunnen være fast, det vil da si at det ikke skal være lett å slå ned spettet. Er grunnen bløt kan utgravningen ned mot fundamentnivået forårsake uforutsette setninger. Dette hender som oftest bare dersom fundamentet ikke undergraves.

### **2.2.9. Risiko**

Under en refundamenteringsprosess må det regnes med at bygningen sprekker opp litt. Dette skjer siden setninger oppstår når lasten blir overført til de nye fundamentene.

Kjellervegger som er oppfylt fra utsiden er alltid utsatt for jordtrykk, og er avhengig av at det støpte kjellergulvet støtter opp mot trykket. Det kan oppstå stor risiko for arbeiderne dersom kjellergulvet fjernes og senkes, siden veggen kan presses inn samtidig som arbeidet pågår. For å minke risikoen for at dette skjer, er det derfor sikrest å avlaste veggen ved å grave opp på utsiden og ned til fundamentnivået. En slik oppgraving gir også flere muligheter som blant annet å legge om dreneringen rundt om huset, ordne en god fuktsikring og varmeisolering på yttersiden.

### **2.2.10. Rekkefølge**

For å skape en lav risiko på arbeidsplassen, må arbeidsprosedyren følges i denne rekkefølgen:<sup>4</sup>

1. Vegger med oppfylling avlastes for jordtrykk ved utvendig oppgraving.
2. Eventuelt betonggulv fjernes.
3. Veggen undergraves seksjonsvis til planlagt dybde og støpes.
4. Det graves innvendig til planlagt nivå.
5. Gulvkonstruksjonen bygges opp, med drensag, isolasjon, radonduk og gulvstøp.
6. Eventuelle manglende innvendige støttevegger mures opp.
7. Utvendig drenering, fuktsikring, isolering og tilbakefylling utføres.
8. Man foretar en eventuell innvendig isolering og innredning i kjeller. Avvik fra den beskrevne arbeidsprosedyren bør utredes av fagfolk i den enkelte byggesaken.

## **3. Byggegrunn og terreng**

### **3.1. Byggegrunn**

En byggegrunn er en grunn som består ulike jordarter og fjell. En byggegrunn kan også bestå kun av jordarter eller bare fjell. De ulike jordartene kan inneholde mineralsk og/eller organisk materiale. Det øverste laget av organisk materiale (matjord/jordsmonn), blir ikke ansett som byggegrunn og fjernes/deponeres for å bli brukt til planering i etterkant. Alt under denne delen anses som mineralsk materiale. Definisjoner til byggegrunn er i henhold til *Veiledning for symboler og definisjoner i geoteknikk: Identifisering og klassifisering av jord*<sup>5</sup>.

---

<sup>4</sup> [6, 23 Rekkefølge]

<sup>5</sup> [1]

Når det angår fjell, som er oftest en veldig god byggegrunn, skal man se opp for råtefjell. Dette er skifret og sterkt forvitret fjell som er et ganske dårlig utgangspunkt for fundamentering. Et eksempel på dette er alunskifer, som ved tilgang på oksygen og vann, skader betong og sveller. Treffer man på slike fjell, rådes det å ta kontakt med eksperter.

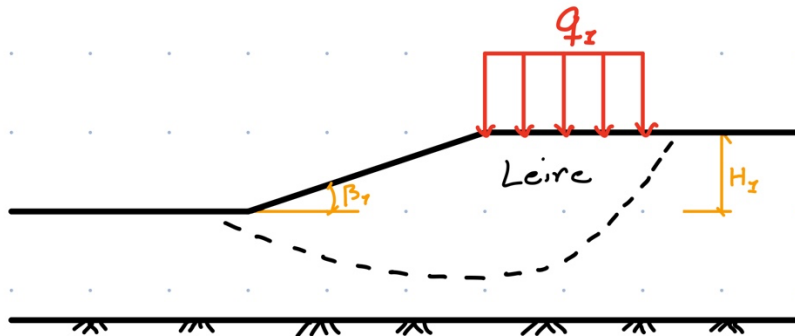
Jordartene klassifiseres etter hvilke fraksjoner, og mengden av fraksjonene som er i jordartene. Som tabellen under viser så deles fraksjonene opp i fem hovedgrupper. Dersom jordartene ikke har noen klare hovedfraksjoner, kan det angis tilleggsbetegnelser for å videre spesifisere klassifiseringen av fraksjonen. Et eksempel er en jordart som består av 5% silt, 70% sand og 25% grus betegnes som grusholdig sand. Tabell 1 viser ulike fraksjonsinndelinger av mineralske jordarter.

Tabell 1: Fraksjonsinndeling av mineralske jordarter

Fraksjon		Kornstørrelse
Grovinnndeling	Fininnndeling	(mm)
Blokk og Stein	<i>Stor blokk</i>	> 630
	<i>Blokk</i>	200 – 630
	<i>Stein</i>	63 – 200
Grus	<i>Grov grus</i>	20 – 63
	<i>Middels grus</i>	6.3 – 20
	<i>Fin grus</i>	2.0 – 6.3
Sand	<i>Grov sand</i>	0.63 – 2.0
	<i>Middels sand</i>	0.2 – 0.63
	<i>Fin sand</i>	0.063 – 0.2
Silt	<i>Grov silt</i>	0.02 – 0.063
	<i>Middels silt</i>	0.0063 – 0.02
	<i>Fin silt</i>	0.002 – 0.0063
Leir		≤ 0.002

### 3.2. Stabilitet

Når det gjelder plassering av hus på en tomt i eller ut mot en skråning, skal stabiliteten til skråningen vurderes. Manglende stabilitet oppstår som oftest i vannrike jordarter. Slike jordarter pleier å ha en veldig lav fasthet, og bygging på slike tomter uten fornuftig planeringsarbeid kan resultere i grunnbrudd. Et eksempel på godt planeringsarbeid er å flate ut skråningen ved å fjerne litt av toppen og bruke det fjernede materialet til å fylle ut i skråningsfoten.



Figur 1: Prinsskisse for skråningsstabilitet

Figur 1 viser et snitt gjennom en skråning i leire for en utgravd byggetomt. I denne figuren antas det at leiren har en konstant skjærfasthet, og at bruddformen er sirkulærsylindrisk. Forutsetningen for denne figuren er at byggegropen er tørr. Ved å ta i bruk figur 1, kan vi få en forenklet metode for å bestemme materialfaktoren:

$$\gamma_m = N_0 \cdot c_u / \sigma_d \quad (1)$$

Formel 1: Forenklet bestemmelse av materialfaktoren

hvor

$$\sigma_d = \gamma_l \cdot H_1 + q_1 \quad \text{Referansespenning} \quad (2)$$

- $\gamma_m$  = materialfaktor
- $N_0$  = stabilitetstall
- $c_u$  = udrenert skjærstyrke (tidligere  $s_u$ )
- $\sigma_d$  = referansespenning
- $\gamma_l$  = romvekt av leire
- $H_1$  = skråningens høyde
- $q_1$  = dimensjonerende last på topp av skråning

Byggforsk forteller oss ved bruk av denne figuren at «Materialfaktoren,  $\gamma_m$ , uttrykker forholdet mellom stabiliserende og drivende krefter i en skråning. Avhengig av bruddmekanisme og alvorlighetsgrad vil kravet til materialfaktor,  $\gamma_m$ , være 1,4–1,6. For skråningsvinkler  $\beta < 55^\circ$  vil en konservativ verdi av  $N_0$  være 5,5. For vertikal utgraving ( $\beta = 90^\circ$ ) vil  $N_0$  være 3,8, og avta lineært i området  $\beta = 55\text{--}90^\circ$ . Beregningsmetoden egner seg kun for korttidsstabilitet. For åpen byggegrop som skal stå i lengre tid, må stabiliteten beregnes med effektivspenningsanalyse»<sup>6</sup>.

### 3.3. Bæreevne

Når et bygg fundamenteres, bør fundamenteringen basere seg på geotekniske undersøkelser og beregninger. For småhus opp til to etasjer, kan man anta at byggegrunnen skal kunne ta opp spenninger (angitt i tabell 2) uten at skadelige deformasjoner følger.

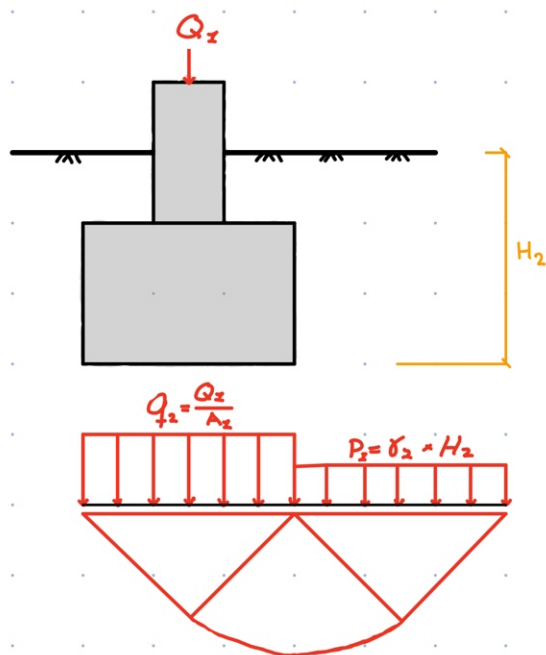
Tabell 2: Maksimal tillatt spenning for ulike jordarter

Jordart	Maksimal tillatt spenning kN/m <sup>2</sup>
Fast lagret sand og grus	250–300
Middels fast sand og grus	150–200
Fin sand til grov silt	100–150
Løs sand og silt	50–150
Fast leire	150–200
Middels fast leire	70–150
Bløt leire	30–70
Meget bløt leire	< 30

Forutsetningen for denne tabellen er at høyeste grunnvannsstand er minst 1 m lavere enn fundamentnivået. Bæreevnen til et fundament avhenger av styrken til de underliggende massene. Siden lasten kan være sentrisk eller eksentrisk, skal dette tas til hensyn ved

<sup>6</sup> [2, 31 Stabilitet]

nedlegging av laster til et fundament. Figur 2 viser bæreevnen til et fundament som er jevnt fordelt med sentrisk belastning. Med denne fordelingen kan man beregne den tillatte bæreevnen av fundamentet.



Figur 2: Bæreevne for sentrisk vertikallast, totalspenninger

$$q_2 = N_c \cdot (c_u / \gamma_m) + p_1 \quad (3)$$

Formel 2: Bæreevne for sentrisk vertikallast, totalspenninger

hvor

$$p_1 = \gamma_1 \cdot H_2 \quad \text{Utvendig last} \quad (4)$$

$q_2$  = Tillatt bæreevne

$N_c$  = Bæreevnemerkfaktor (5,14)

$c_u$  = Udrenert skjærstyrke (tidligere  $s_u$ )

$\gamma_m$  = Materialfaktor ( $\geq 1,4$ )

$p_1$  = Utvendig last (spenning fra jord over fundamentnivå)

$\gamma_1$  = Romvekt av leire

$H_2$  = Høyden av jord over fundamentnivå

$Q_1$  = Last på fundament fra bygningen

$A_1$  = Fundamentareal



Kravet for materialfaktor  $\gamma_m$  varierer fra 1,4 – 1,6, basert på bruddmekanisme og alvorlighetsgraden. Stripefundamenter, et fundament som overfører kraften fra byggets konstruksjon ned til en overflate som ligger under jordlaget på småhus, vil gi en større  $\gamma_m$  som da vil gi en mindre belastning på jorden, altså gi mindre setninger. Om fundamentet er horisontalbelastet så vil bæreevnefaktoren  $N_c$  reduseres med inntil 50%.

### 3.4. Jordtrykk

Jordtrykk er trykket som utøves fra jord mot kjellermurer og støttemurer<sup>7</sup>. Jordtrykket mot en kjellervegg eller en støttemur er avhengig av styrke- og deformasjonsegenskapene til bakenforliggende jordarter, fyllingshøyden, belastningen av terrenget og bevegelighetsmuligheten gitt av konstruksjonen. Jordtrykk blir angitt i kilonewton per kvadratmeter ( $\text{kN/m}^2$ ) konstruksjonsflate. Dette trykket kan øke betydelig selv ved forsiktig fylling mot en kjellermur, og er regnet som den mest vanlige årsaken til oppsprekking av kjellervegger og utpressing av støttemurer. Beregning av jordtrykk kan gjøres etter NS-EN 1997-1.

Når det utføres en forenklet beregning av jordtrykk bak kjellervegger og støttekonstruksjoner, er det mange parametere som må vurderes. Man må være spesielt oppmerksomme på virkningen av jordtrykket ved store kjellerdyp. Feil vurdering av et slikt jordtrykk vil gi en feil dimensjonering av kjellermuren. Feil dimensjonering i denne forstand er da for lite armering. I beste fall så vil en slik feil dimensjonering føre til sprekker i veggen, og i verste fall så vil dette føre til at muren blir presset inn av jordmassene.

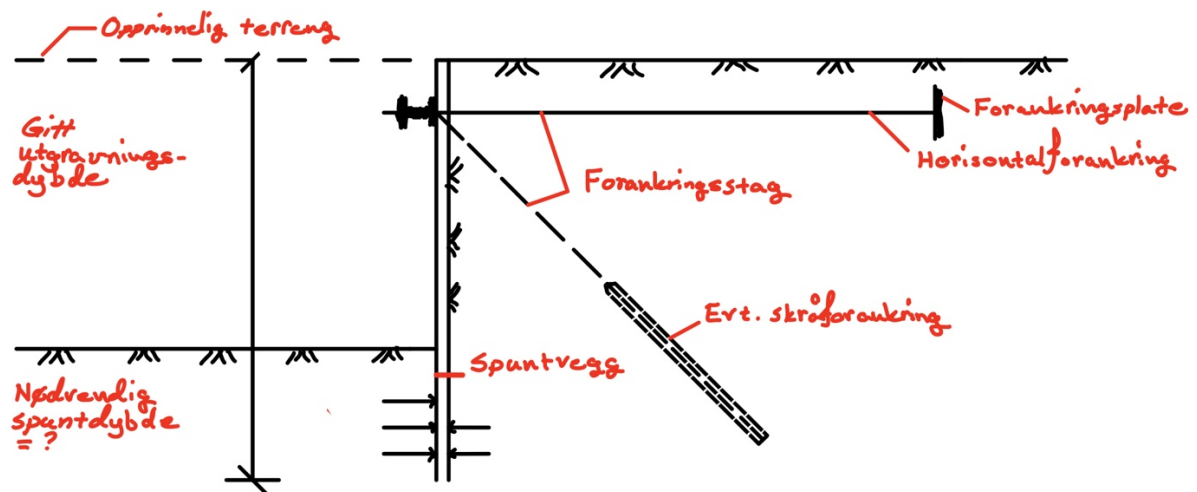
Ved en forenklet beregning av jordtrykket bak en kjellervegg, settes det enkelte forutsetninger som gjelder spesielt for slike konstruksjoner. En slik beregning gir dimensjonerende jordtrykk på effektivspenningsbasis gjennom valg av en materialkoeffisient ( $\gamma_{m,1}$ ). Denne koeffisienten pleier å ligge mellom 1,3 – 1,6, noe som er avhengig av bruddmekanisme og alvorlighetsgrad. Når man skal beregne jordtrykket, må man også ta en vurdering av veggens bevegelser i forhold til jorden.

En støttekonstruksjon, som en vegg, vil få et aktivt jordtrykk dersom den unnviker fra jorden. Dette vil da si at lasten på veggen ikke vil presses inn mot jorden. Når det motsatte av dette skjer, at konstruksjonen presses mot jorden, så defineres jordtrykket som aktivt. Denne vurderingen har stor betydning for valget type jordtrykkoeffisient ( $K_a$  eller  $K_p$ ).

---

<sup>7</sup> [3]

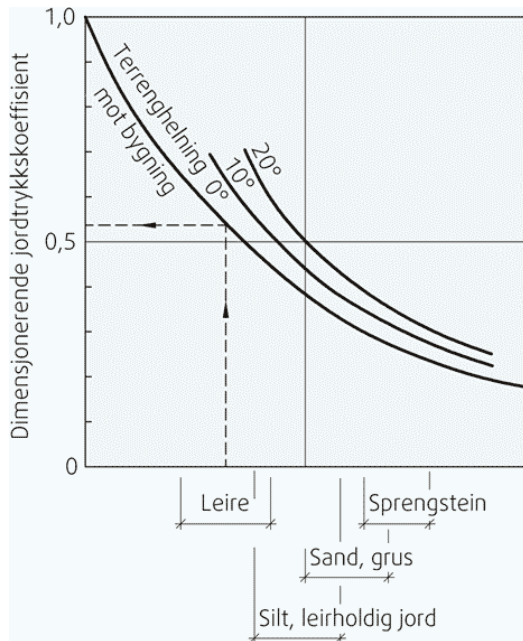
Når en vet hvor dypt man skal grave, kreves det at man setter opp en avstivet spuntvegg. Før man setter opp en spuntvegg må det utredes enkelte forhold. Det første omhandler spuntdybden. Her må det finnes ut av hvor stor den nødvendige spuntdybden er under det ferdige utgravningsnivået. Det andre forholdet handler om forankringsstagene. Her må det finnes ut av hvor stor kraft som blir tilført i forankringsstagene, og om de må være horisontale eller skråstilte. Det skal nevnes at forankringsstagene kun kan være skråstilte dersom forholdene tillater dette. Et eksempel av en forankret spuntvegg er noe man kan se i figur 3. Det siste forholdet man må ta hensyn til omhandler forankringsplaten eller forankringssylinderen. Her må det vektas hvor stor platen/sylinderen skal være, om det er nødvendig og hvor den må plasseres.



Figur 3: Forankret spuntvegg<sup>8</sup>

Når den aktive jordtrykkskoeffisienten ( $K_a$ ) skal bestemmes, brukes figur 4 (s. 27). Bakgrunnen for dette er at  $K_a$  er ulik for alle jordartene. For konstruksjoner som gir lite etter for trykk, som kjellervegger, skal  $K_a$  økes med 50 %. Konstruksjonens friksjon, kjent som ruhet mellom vegg og jord, er av stor betydning for jordtrykkskoeffisienten. Når en vegg er ru, snakker man om at det oppstår skjærkrefter i flaten som står mellom veggen og jorden. For at figur 4 skal være gjeldende, forutsettes det at denne flaten skal være friksjonsfri, at  $r = 0$ . Det er viktig å finne ut hvilke ytre laster, ofte bemerket med  $q$ , som kan forekomme og hva lastfaktoren ( $\gamma_f$ ) på de ulike lastene skal være. Dette er viktig siden ytre laster som påvirker jordflaten vil ha en stor betydning for jordtrykket. I figur 4 (under) så må det også tas hensyn til jordens helning ved valg av jordtrykkskoeffisient. Dette gjøres siden en økende terrenghelning mot bygningen kan bidra til en økning av jordtrykket.

<sup>8</sup> [4, s. 252]



Figur 4: Aktiv jordtrykkskoeffisient,  $K_a$ , for ulike materialer

Når man skal utregne jordtrykket, må man bestemme hva den effektive vertikalspenningen er. Denne spenningen finner man ved å ta i bruk ligningen:

$$p'_v = p_v - p_w \quad (5)$$

Formel 3: Effektiv vertikalspenning

hvor

$$p_v = q_l + \gamma * z \quad \text{total vertikalspenning} \quad (6)$$

$$p_w = \gamma_w * H_w \quad \text{poretrykk} \quad (7)$$

$$(p'_a + a) = K_a * (p'_v + a) \quad \text{aktivt jordtrykk} \quad (8)$$

$$p_a = p'_a + p_w \quad \text{total jordtrykk} \quad (9)$$

Dersom det oppstår en tilbakefylling langs en kjellervegg, kan  $a$  settes lik null i ligning (8).

$a$  = Attraksjon

$\gamma$  = Jordartens romvekt (i  $\text{kN/m}^3$ )

$\gamma_w$  = Vannets romvekt

$z$  = Dybden ned i jordlaget (i meter)

$p'_a$  = Det aktive jordtrykket

$p'_v$  = Det effektive jordtrykket

$p_v$  = Den effektive vertikalspenningen

$p_w$  = Poretrykk (følge av grunnvannsstanden)

$q_l$  = Dimensjonerende last

$K_a$  = Aktive jordtrykkskoeffisienten

$H_w$  = Grunnvannstandens høyde

### Trykk mot kjellerveggen

Effektivt vertikalt trykk

$$\sigma_{v1}' = \sigma_{v1} = q_k * \gamma_Q \quad (10)$$

Formel 4: Vertikalt trykk grunnet midlertidig last

$$\sigma_{v2}' = \sigma_{v2} = q_k * \gamma_Q + \gamma_H \quad (11)$$

Formel 5: Totalt vertikalt trykk

$$\sigma_{v3}' = \sigma_{v3} = \gamma * h \quad (12)$$

$$\sigma_{A1}' = \sigma_{A1} = k_A * \sigma_{v1}' \quad (13)$$

Formel 6: Effektivt trykk grunnet midlertidig last

$$\sigma_{A2}' = \sigma_{A2} = k_A * \sigma_{v2}' \quad (14)$$

Formel 7: Passivt og aktivt horisontalt trykk

$$\tan(\rho) = \frac{\tan(\psi)}{\gamma_Q} \quad (15)$$

Formel 8: Tangens for friksjonsvinkel delt på sikkerhetsfaktor for grunn

$$\sigma_{P1}' = k_P * \sigma_{v3}' \quad (16)$$

Formel 9: Passivt trykk mot kjellerveggen

hvor

$\gamma$  = Jordartens romvekt, i  $kN/m^3$

$\gamma_w$  = Vannets romvekt, i  $kN/m^3$

$\gamma_Q$  = Dimensjonerende verdi for laster (STR/GEO) (Sett C), gitt i Tabell NA.A1.2(C)  
NS-EN 1990:2002/NA:2008

$\alpha$  = Attraksjon

$\psi$  = Karakteristisk friksjonsvinkel for grunn

$h$  = Tykkelse på gulv

$H$  = Høyde

$q_k$  = Tilleggslast mot grunn

$k_P$  = Passiv jordtrykkskoeffisienten, Figur 5.23 Håndbok 016

$k_A$  = Aktive jordtrykkskoeffisienten, Figur 5.23 Håndbok 016

$r$  = Friksjonsfaktor for betongveggenes ruhet

Tabell 3: Horisontalt jordtrykk mot kjellervegg

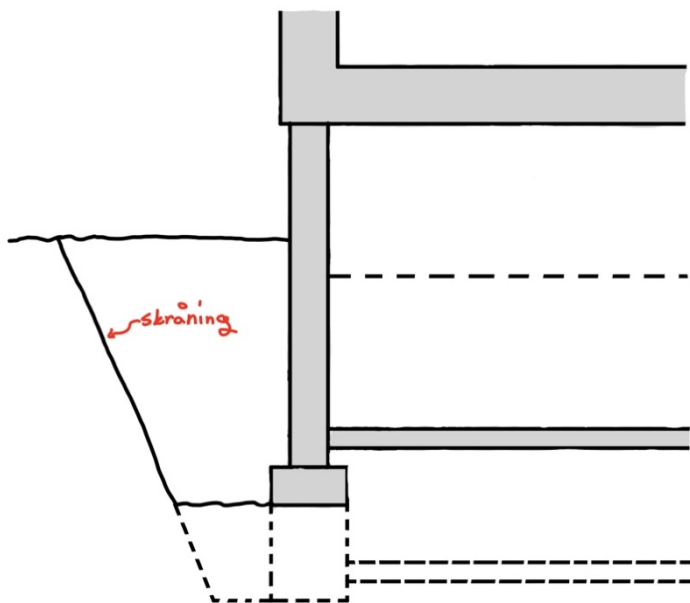
Materiale	Dimensjons tyngdetetthet	Grader °	Karakteristiske Indre Friksjonsvinkel	Attraksjon a		r	Active pressure /passive pressure	Dybde	Tykkelse gulv	last over	Effective vertical pressure			Ka	Horizontal active pressure		K <sub>p</sub> =	σ <sub>p1'</sub> =
				Konservativ	Liberal						σ <sub>v1'</sub>	σ <sub>v2'</sub>	σ <sub>v3'</sub>		σ <sub>a1'</sub>	σ <sub>a2'</sub>		
Tilført komprimert e masser	Sprengstein*	19	42	0,64	0	10	0	2,85	0,1	0	0	54,15	1,9	0,28	0,0	15,2	3,2	6,1
	Grus *****	19	38	0,56	0	0	1,3	2,85	0,1	0	0	54,15	1,9	0,35	0,0	19,0	2,8	5,3
Naturlige, ikke komprimert e masser	Sand	18	36	0,52	0	0	1,3	2,85	0,1	0	0	51,3	1,8	0,37	0,0	19,0	2,7	4,9
	Grus	19	35	0,50	0	0	1,3	2,85	0,1	0	0	54,15	1,9	0,38	0,0	20,6	2,6	4,9
Leire og leirring silt	Sand	17	33	0,46	0	0	1,3	2,85	0,1	0	0	48,45	1,7	0,41	0,0	19,9	2,5	4,3
	Silt	18	31	0,43	0	0	1,3	2,85	0,1	0	0	51,3	1,8	0,44	0,0	22,6	2,3	4,1
Leire og leirring silt	Fast**	20	26	0,35	0	0	1,3	2,85	0,1	0	0	57	2	0,5	0,0	28,5	2	4,0
	Bløt**	19	20	0,26	0	0	1,3	2,85	0,1	0	0	54,15	1,9	0,6	0,0	32,5	1,5	2,9

- \* Sprengstein. Gjelder også maskinkult. Høyere verdier av a kan vurderes avhengig av steinstørrelse*
- \* For sprengstein av god kvalitet brukt under landkaret kan den høyeste verdien benyttes.*
- \*\* Leire (eller leiring silt), fasthetsparametrene må bestemmes på uforstyrrede prøver.*
- \*\*\*\* For grus av god kvalitet under landkaret kan den høyeste verdien benyttes*

## 4. Gulvkonstruksjon

### 4.1. Avlastning av jordtrykk ved utvendig oppgraving

Figur 5 viser utvendig oppgraving i forhold til eksisterende kjellergulv. Graveskråningen kan ikke være for bratt, siden det kan utløse setninger og ras. Skråningen bør heller tilpasses stabiliteten til massene det graves i. Om fundamentet skal undergraves, må det tas hensyn til at skråningsfoten kommer dypere, samtidig må man også passe på at det skal være nok plass til å legge ny drenering på utsiden av det forsenkede fundamentet.



Figur 5: Avlastning av jordtrykket mot veggene med utvendig oppgraving

### 4.2. Innvendig avstiving

Alle betongvegger som står mot terreng, er naturlig utsatt for horisontalt trykk fra masse som er fylt tilbake. Dersom man er sikker på at den eksisterende dreneringen er stabil nok for det nye senkede gulvet, kan man droppe en utvendig oppgraving ved å bare avstive veggene på innsiden. En slik innvendig avstiving kan også være relevant om man skal senke gulvet uten å senke fundamentene. En annen metode kan være å spenne inn stålbejler på tvers av rommet for å sikre at veggene ikke faller innover. Dersom dette gjøres, anbefales det at fagfolk vurderer og dimensjonerer en løsning.

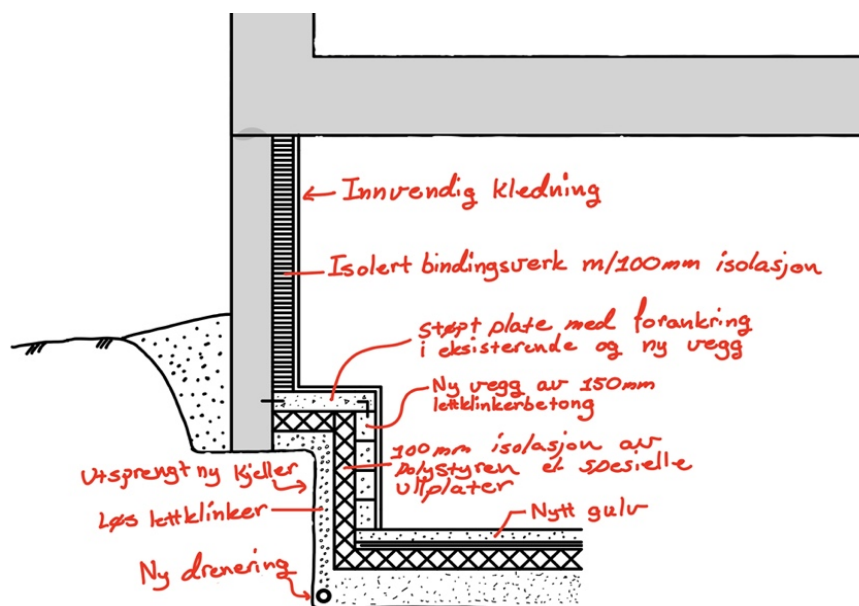
### 4.3. Fjerning av gulvkonstruksjon

Betonggulvet kan fjernes når ytterveggene ikke lenger har et påført jordtrykkslast. Grunnen til dette er at veggene ikke trenger sideveis støtte for å holde på de vertikale kreftene som virker på veggene. Når gulvet fjernes, bør det enten pigges opp med et trykkluftbor eller undergraves for å brekkes i biter.

Dersom det ligger fjell under betonggulvet, kan det pigges med et trykkluftbor eller sprenges. Skal det sprenges må man bruke forsiktige og forsvarlige metoder som søm-boring. Hensikten med denne metoden er å danne en bruddanvisning i fjellet ved å bruke saktevirkende ekspanderende masse. Om denne metoden skal utføres, bør den eksisterende romhøyden være rundt 1,5 m. Årsaken er å ta hensyn til boreutstyret som driller vertikale hull nedover. Vurderinger av fjell og utførelse av arbeid med sprengstoff må kun utføres av sakkyndige.

Ved fjerning av masse så bør det også lages en åpning i veggene slik at man får transportert vekk innvendig jord- og steinmasser under utgravingen. Ved denne utgravingen bør det brukes maskinelt utstyr på bakgrunn av at det er veldig tids- og kostnadskrevende arbeid.

Om bygningen allerede er fundamentert på fjell, er det mulig å øke romhøyden ved å sprengne ut den eksisterende kjelleren uten å måtte endre på fundamentene. Figur 6 viser et eksempel på en slik løsning. En slik løsning forutsetter at man har en bæredyktig fjellgrunn slik at den eksisterende kjellerveggen (også kjent som ringmur) kan stå på en hylle som vist i figuren. Dersom fjellet ikke er veldig fast så kan en løsning være å sikre fjellet lokalt med fjelbolter.



Figur 6: Avstiving av eksisterende fundament på fjellgrunn



## **5. Betongvegg mot terreng**

### **5.1. Generelt**

Dimensjoneringen som blir utført videre i dette kapittelet gjelder for en 200 mm betongvegg som er satt opp mot terreng. Slike vegger blir ofte brukt til kjellerrom i underetasjer på småhus og pleier å ha en høyde på 2,85 m. For en slik vegg er det viktig at høyden på tilbakefyllingsmassen ikke overgår 2,5 m. Det er viktig at tilbakefyllingsmassens høyde ikke overskrider 90% av totalhøyde, etter krav om rømningsvei i rom med varig opphold. Dette er da målt opp i forhold til nivået på kjellergulvet.

### **5.2. Betong**

Når betong skal klassifiseres tas det i bruk tre ulike parametere. Disse tre parameterne er fasthet, eksponering og bestandighet. Betongens egenskaper velges med hensyn på miljø og bruksområde. Egenskapene til betongen bestemmes av kravene som blir satt i NS-EN 1992. Denne oppgaven velger betongkvalitet i fasthetsklassen B25. I følge Byggforskserien skal vegger og fundament under terreng utføres med betongkvalitet i fasthetsklasse B20 og bestandighetsklasse M60 eller bedre<sup>9</sup>.

Betongen klassifiseres også i konsistensklasser og toleranser. Dette gjøres i henhold til NS-EN 206. Betongen bør ha et synkmål på 160 – 210 mm. Grunnen til dette er for å unngå reir i betongen og annen skade som kan komme av for lavt synkmål. For god støp bør betong med synk-klasse S4 (160 – 210 mm) brukes.

#### **5.2.1. Dimensjonering av vegger**

Denne oppgaven tar for seg armering og spennvidde for enkeltarmerte, 200 mm tykke vegger. Under beregningene er det brukt kam-10 armeringsjern. Betongvegger mot terreng dimensjoneres etter NS 3473 og NS 3490.

### **5.3. Armering**

Nedlegging av jernstenger i forskalingen kalles armering. Når forskalingen blir fylt med betong og den stivner, vil armeringen være med på å gi f.eks. bjelken mer strekkraft. Når det

---

<sup>9</sup> [11, 21 Betongkvalitet]

gjelder armeringskvalitet for kamstål skal kvalitet B500C brukes. Dette er da i henhold til NS 3576-3.

Når det gjelder overdekning, er det satt et minimumskrav på 25 mm for kjellervegger. Disse kravene er gitt i NS 3465. Dette er for 50 års levetid ( $c_{min,dur}$ ). Dette kravet vil si at armeringsjern skal plasseres minst 25 mm inn fra ferdigstøpte vegger. For å sikre at minimumsoverdekningen er tilstrekkelig, legges det ofte til 10 mm ( $\Delta c_{dev}$ ) mer. Dermed blir armeringsoverdekningen på minimum 35 mm når det blir anslått 50 års levetid. Dersom ikke hele lengder av armering benyttes, skal armeringen overlappes ved skjøt på en lengde med minst 40 ganger armeringsdiameter.

$$C_{nom} = C_{min} + \Delta C_{dev} \quad \text{Minimum overdekke sikkerhetsfaktor} \quad (17)$$

Formel 10: Utregning av overdekket

hvor:

$$C_{min} = \max(C_{min,b}; C_{min,dur}; 10\text{mm}) \quad \text{Minimum overdekke} \quad (18)$$

$$C_{min,b} = \max(\emptyset_L; 10\text{mm}) \quad \text{Minimum overdekke som følge av armeringsjern} \quad (19)$$

$\Delta C_{dev}$  = Tillegg for sikring av tilstrekkelig overdekke (10mm)

$C_{min,dur}$  = Minimum overdekke som følge av varighet

$\emptyset_L$  = Diameter av armeringsjern

### 5.3.1. Armeringsmengde

Tabell 4: Avstand mellom liggende armering

		Senteravstand mellom liggende armeringsjern (mm)							
Grunn		Spennvidde							
		3	4	5	6	7	8	9	10
Sprengstein*		333	250	200	166	166	142	125	111
Grus ****		250	166	142	125	111	90	83	76
Sand		250	166	142	125	100	90	83	71
Grus		200	166	125	111	90	83	71	66
Sand		200	166	125	111	90	83	71	66
Silt		166	142	111	90	76	71	62	55
Leire og leiring silt	Fast**	142	100	83	71	62			
	Bløt**	111	83	71	58				

\* Sprengstein. Gjelder også maskinkult. Høyere verdier av a kan vurderes avhengig av steinstørrelse

\* For sprengstein av god kvalitet brukt under landkaret kan den høyeste verdien benyttes.

\*\* Leire (eller leiring silt), fasthetsparametrene må bestemmes på uforstyrrede prøver.

\*\*\*\* For grus av god kvalitet under landkaret kan den høyeste verdien benyttes

Tabell 4 (s. 34) viser armeringsmengden som behøves gitt i senteravstanden mellom den liggende armeringen og de tilbakefylte massene, samtidig som tabell 5 viser det samme bare for den stående armeringen. Det er vanlig å legge to 12 mm kamstål i toppen og på bunnen av veggen. Dette gjøres for å unngå riss i veggen. Når det angår andre bruksområder, må grunnmurens bæreevne dimensjoneres for hvert enkelt tilfelle. Figur 7 og figur 8 (s. 36) viser hvordan armeringen skal plasseres i slike tilfeller.

Tabell 5: Senteravstand mellom stående armeringsjern

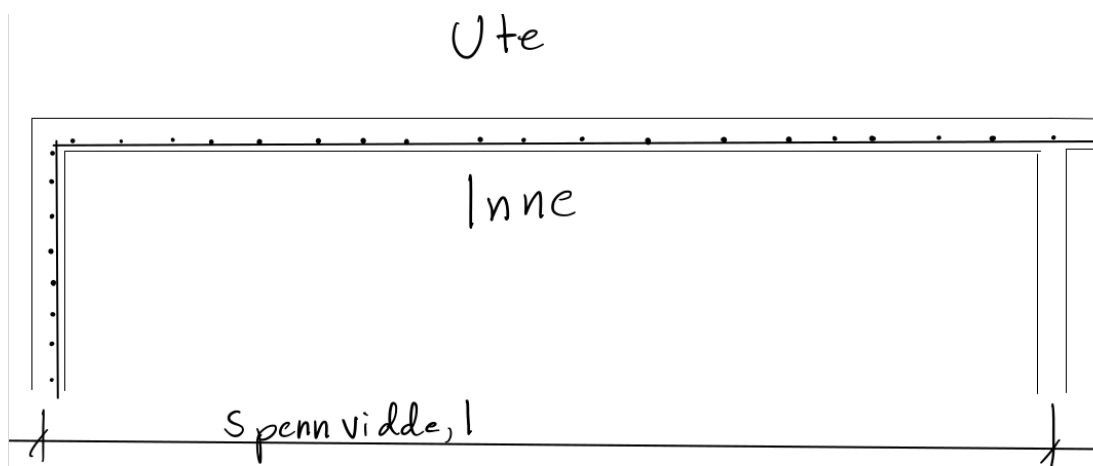
Type masse		Senteravstand mellom armeringsjern (mm)	
<b>Tilført komprimert masse</b>	Grunn	285	
	Sprengstein*	333	
	Grus *****	250	
	Sand	250	
<b>Naturlig, ikke komprimert masse</b>	Grus	200	
	Sand	200	
	Silt	200	
	Leie og leiring silt	Fast**	142
		Bløt**	125

\* Sprengstein. Gjelder også maskinkult. Høyere verdier av a kan vurderes avhengig av steinstørrelse

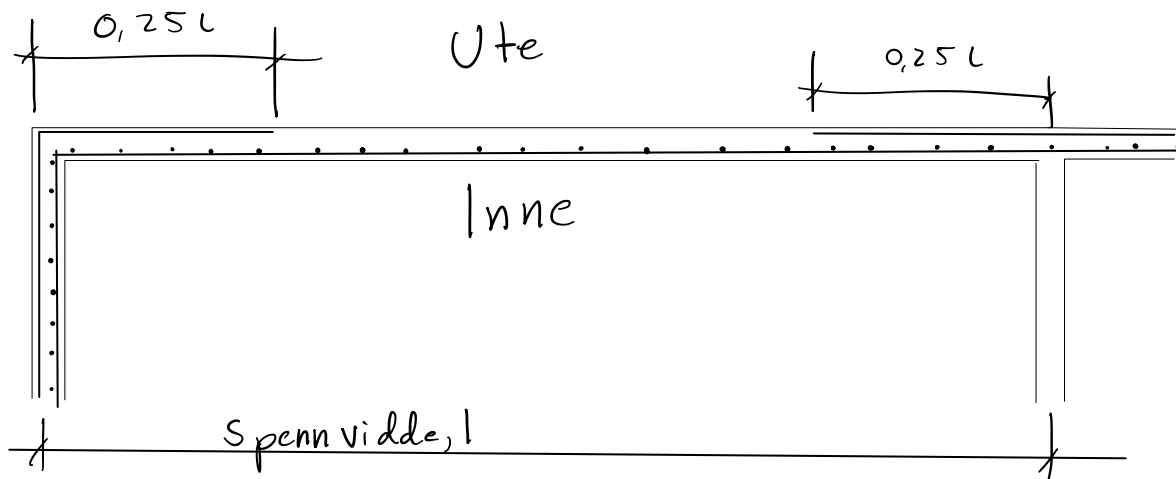
\* For sprengstein av god kvalitet brukt under landkaret kan den høyeste verdien benyttes.

\*\* Leire (eller leiring silt), fasthetsparametrene må bestemmes på uforstyrrede prøver.

\*\*\*\*\* For grus av god kvalitet under landkaret kan den høyeste verdien benyttes



Figur 7: Plassering av armering i senterarmerte vegger



Figur 8: Plassering av armering ved dobbelarmerte vegger

Formel 11, 12, 13 og 14 viser formlene som blir utført for å finne avstanden mellom armeringsjernene og hvor mye jern som behøves, samt senteravstanden mellom de ulike armeringsjernene.

$$a_h = \max(2 \cdot \varnothing_L; 20 \text{ mm}) \quad (20)$$

Formel 11: Minimum horisontal avstand mellom armeringsjern

hvor

$\varnothing_L$  = Diameter for armeringsjern

$$a_v = \max(1,5 \cdot \varnothing_L; 20 \text{ mm}) \leq 32 \text{ mm} \quad (21)$$

Formel 12: Minimum vertikal avstand mellom armeringsjern

$$A_s = M_{Ed,1} / (z \cdot f_{yd}) \quad (22)$$

Formel 13: Utregning for nødvendig armering

hvor

$$z_1 = d(0,5 + \sqrt{0,25 - k/1,134}) > 0,95d \quad (23)$$

$$d = h - C_{nom} - \varnothing_s - \varnothing_L/2 \quad \text{Avstand fra senterarmeringsjern til utvendig betong} \quad (24)$$

$$k = M_{Ed,1} / bd^2 f_{ck} \quad \text{Forhold mellom påført moment og betongens momentkapasitet} \quad (25)$$

$$f_{yd} = f_y / \gamma_s \quad \text{Armeringens dimensjonerende flytegrense} \quad (26)$$

$A_s$  = Nødvendig armering

$M_{Ed,1}$  = Moment som resultat fra horisontalt jordtrykk

$z_1$  = Indre momentarm

$f_y$  = Strekkfasthet

$\gamma_s$  = Sikkerhetsfaktor for stål

- $h_1$  = Tykkelse av område under trykk  
 $C_{nom}$  = Minimum overdekke sikkerhetsfaktor  
 $\varnothing_s$  = Diameter for skjærarmering  
 $\varnothing_L$  = Diameter for armeringsjern  
 $b$  = bredde av område under trykk  
 $f_{ck}$  = Betongens karakteristiske sylindetrykkfasthet etter 28 døgn

$$CC = b / No. \quad (27)$$

Formel 14: Senteravstand mellom armeringsjern

hvor

$$No. = A_s / A_{12} \quad \text{Antall armeringsjern} \quad (28)$$

$$A_s = M_{Ed,1} / (z * f_{yd}) \quad \text{Nødvendig armeringsjern} \quad (29)$$

$$A_{12} = \Pi (\varnothing_L / 2)^2 \quad \text{Areal for kam 12 armeringsjern} \quad (30)$$

$CC$  = Senteravstand mellom armeringsjern

$\varnothing_L$  = Diameter for armeringsjern

$\Pi$  = pi (3,14)

$b$  = bredden av område under trykk

## **5.4. Forskaling**

### **5.4.1. Generelt**

Det stilles grunnleggende krav for forskaling gjennom NS 3465. Forskalingen skal under hele byggeprosessen være dimensjonert til å kunne motstå alle laster som utvikles. Toleranser som er spesifisert for konstruksjonen skal etterleves. Form, funksjon bestandighet og utsende for betongarbeidet skal ikke ødelegges eller forverres av forskalingen, eller som følge av fjerning av forskaling. Påføring av forskalingsolje skal gjennomføres på en slik måte at betong, forskaling eller heften til armeringen kommer til skade. Betongens overflate skal heller ikke få en negativ påvirkning.

Demolering av forskaling skal utføres på en slik måte at konstruksjonen ikke utsettes for overbelastninger eller annen skade. Den tilførte betongen skal ha fått god tid slik at den er tilstrekkelig fast når demoleringen begynner. Det betyr at betongen skal være i stand til å motstå skader på overflaten som er en følge av rivingen, samt bære lastene som påføres under demoleringen. Det må også tas høyde for uforutsette deformasjoner som kan komme fra elastiske egenskaper og kryp i betongen.

### **5.4.2. Støp**

Forskaling skal være fri fra is, snø og graps. For at betongen skal oppnå tilstrekkelig fasthet, skal alle konstruksjonsdeler som er i kontakt med fersk betong ha en slik temperatur at betongen ikke fryser før tilstrekkelig fasthet er nådd.

## **6. Understøping av vegger**

### **6.1. Generelt**

Dersom man skal understøpe seksjonsvis, må man passe på at fundamentet og/eller grunnmuren har et bindemiddel som gir muren en viss indre styrke. Det går også fint å understøpe seksjonsvis dersom fundamentet og/eller grunnmuren er forsterket eller armert.

### **6.2. Fjerning av masser**

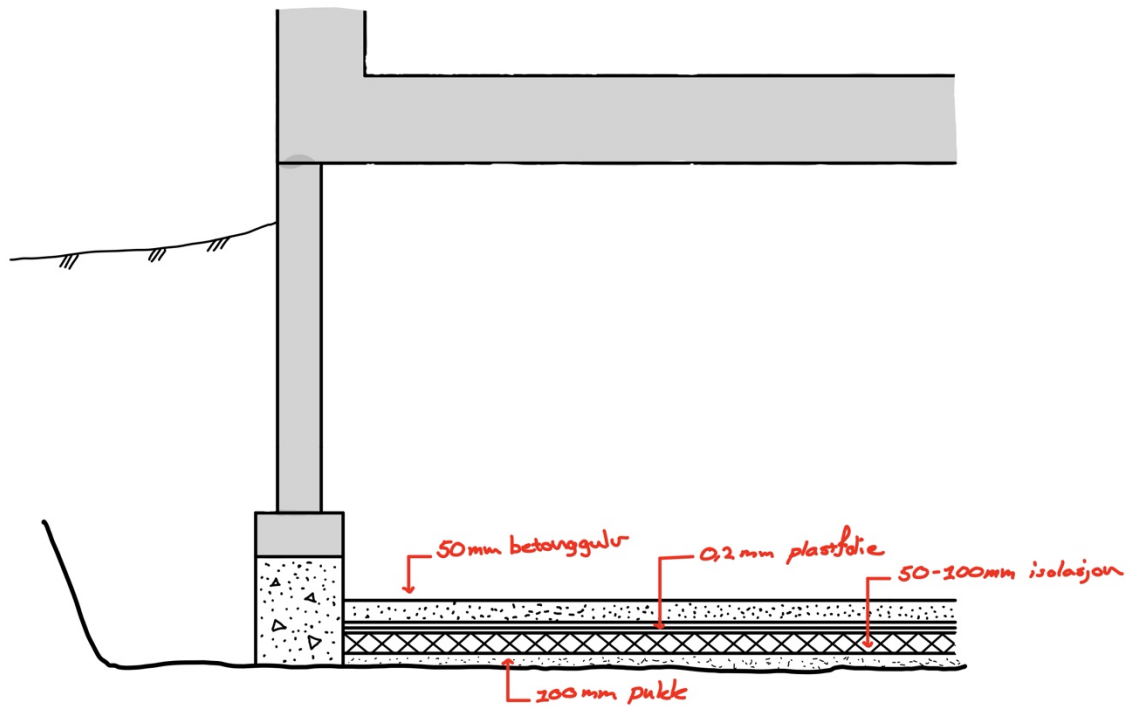
Når man skal senke fundamenteringen til et lavere nivå, må veggene undergraves og understøpes. Fundamenteringen må også i enkelte tilfeller undermures. Metodisk begynner dette ved at man graver ned langs begge sider av muren. Deretter fjernes massene under fundamentet i seksjoner. Dette gjøres siden man må tilpasse hvor mye spenn den gamle muren tåler. Med denne metoden bør ikke fundamentet senkes med mer enn 1,0 meter. Man kan arbeide samtidig med flere ulike seksjoner, men man skal være veldig varsom og ikke jobbe på mer en rundt om  $\frac{1}{4}$  av den samlede lengden som skal understøpes. Seksjonene man fjerner bør også ha en relativ lik avstand gjennom prosessen.

Etter at de ønskede massene er fjernet til den bredden og dybden man skal ha, forskales og armeres seksjonen. Armeringen skal være lengre enn seksjonen og bøyes slik at man kan skjøte armeringen til den neste seksjonen når den skal støpes. Når seksjonen skal støpes, støpes den slik at man får et mellomrom på rundt 20 – 30 mm. Dette er mellom toppen av seksjonen og underkanten av den eksisterende veggen. Etter at seksjonen er herdet, skal det støpes i mellomrommet med en ekspanderende betong. Dette gjøres for å hindre at bygget «setter seg» i etterkant når mellomliggende partier skal utgraves og støpes.

### **6.3. Ny gulvkonstruksjon**

Det er flere måter å bygge opp et gulv på, men denne metoden vist i figur 9 (s. 40) er den mest standardiserte. For nybygde boliger vil et isolasjonslag på 150 – 200 mm tilfredsstille de satte kravene. Når et gulv skal ombygges i et eksisterende hus, er det ikke satt krav om forbedring av gulvisolasjon, men det anbefales uansett å legge 50 mm gulvisolasjon. Skal det derimot legges varmekabler i gulvet, anbefales det å øke isolasjonen til minst 100 mm.

Om man bedrer varmeisoleringen i gulvet og veggene og samtidig senker terrengnivået rundt om bygget, kan dette øke faren for tele under fundamentene. Dersom dette skjer kan det være nødvendig å ta i bruk markisolering.



Figur 9: Gulvkonstruksjon



## **7. Radon**

### **7.1. Hva er radon?**

Radon er en radioaktiv gass uten luft eller farge. Ifølge WHO er radon den nest største årsaken til lungekreft etter røyking. Det anslås at 300 mennesker dør som følge av et høyt radoninntak som senere har utviklet seg til lungekreft. For å sjekke mengden radon i boligen må det gjennomføres en måling. Om målingene skulle vise radonnivåer over 100 Bq/m<sup>3</sup>, bør tiltak gjøres for å redusere konsentrasjonen. Konsentrasjonen av radon bør være så lavt som mulig og alltid under 200 Bq/m<sup>3</sup>.

### **7.2. Helsefare**

Når radon er til stede i luften, dannes det kontinuerlig ustabile radionuklider. Disse radionuklidene og radon danner alfastråling. Alfastråling kan ikke trenge gjennom hud og er i hovedsak ikke farlig, så lenge man ikke får det inn i kroppen. Om man derimot puster inn radon, dannes alfastrålingen i lungene og kan gjøre skade på levende celler. Celler som er utsatt for alfastråling kan utvikle seg til kreftceller.

### **7.3. Tiltaksgrense**

Strålevernets anbefaling er at radonkonsentrasjonen i inneluften skal til enhver tid holdes så lavt som mulig og ikke overstige 100 Bq/m<sup>3</sup>. Ved tilfeller hvor radonkonsentrasjonen i inneluften overstiger 100 Bq/m<sup>3</sup>, skal den ikke overstige 200 Bq/m<sup>3</sup>. Kravene om radonkonsentrasjonen i inneluften gjelder for årsmiddelverdier kalkulert fra målinger gjort i henhold til Strålevernets prosedyrer. Tiltakene gjelder for alle bygninger med rom for varig opphold.

### **7.4. Tiltak**

#### **7.4.1. Generelt**

Det er viktig at konstruksjoner mot grunn blir så lufttette som mulig. Årsaken er for å hindre radonholdig luft fra grunnen til å trenge inn i bygget. Det kan over tid oppstå riss og sprekker, noe som kan føre til radonlekkasjer. Derfor er en hovedregel å legge en radonmembran i gulvet. En annen hovedregel er å sikre at resten av konstruksjonen som står mot terrenget står lufttett.

#### **7.4.2. Gulv**

Gulv mot terreng bør utføres med radonmembran. Har man betonggulv mot grunn kan gulvet gjøres samsvarende tett dersom tilslutninger, støpeskjøter og gjennomføring er forsvarlig tett. Hvis en unngår å bruke radonmembran, må man legge fram en sikkerhet mot oppsprekking i gulvet samt at gulvkonstruksjonen er tilstrekkelig tett for å hindre at radonholdig luft trenger inn fra grunnen. Dokumentasjon om betongens tykkelse, kvalitet og armeringsmengde må dermed fremlegges. Det er ellers anbefalt å benytte radonmembran i alle gulvkonstruksjoner, selv om det oppfyller kriteriene gitt ovenfor.

#### **7.4.3. Vegger**

Standarden som er satt for vegger mot terreng tilsier at det bør legges radonsperre langs vegg. Om det derimot benyttes plaststøpt betong eller betongelementer som tetter godt mot grunn og består av en god kvalitet, er det ikke et behov for å legge radonsperre. Det samme gjelder om alle støpeskjøter og fuger har dokumentert varig tetthet.

#### **7.4.4. Radonbrønn**

Radonbrønn og grunnventileringssystem er et aktivt system som virker som en ekstra forsikring. Denne skal kun aktiveres dersom radonkonsentrasjonen blir for høy som følge av at radonsperren ikke virker som den skal. Radonbrønnen skal kunne aktiveres etter at kontrollmålingene av radonkonsentrasjonen i innemiljøet er gjennomført. En egen radonvifte skal da aktiveres, denne senker lufttrykket i dreneringslaget under huset. Dette skaper et undertrykk i grunnen og reduserer lekkasjen av radongasser inn i bygget betydelig.

## 8. Lastfordeling

### 8.1. Generelt

Ved støpning av ny grunnmur må først eksisterende grunnmur rives. Dette kan kun gjennomføres etter at en midlertidig bæring av huset etableres. Dette kan gjøres ved hjelp av forskalingsstøtter og/eller ståldragere. Refundamentering av grunnmurer gjennomføres i hovedsak på gamle hus. Over tid skjer det endringer i boligen. Bærevegger fjernes eller endres og oppussing er ofte gjennomført, noe som endrer bæreevne og plassering av laster fra når huset ble bygget. Når plassering av den midlertidige bæringen skal etableres, er det viktig å komme i kontakt med en takstmann slik at man vet hvor lastene på huset kommer.

### 8.2. Laft

Lafteverk er i korte trekk en konstruksjon av liggende tømmer. Tømmerstokker flettes sammen i hjørner ved bruk av laftehalser og laftehoder. Denne typen konstruksjon var den dominerende måten å bygge hus på fra vikingtiden og helt frem til 1800-tallet. Laftete konstruksjoner brukes fremdeles den dag i dag, og benyttes særlige til tømmerhytter eller i verneverdige byer for eksempel Røros<sup>10</sup>.

Når midlertidige bæringer skal kalkuleres, er det viktig å ta høyde for at laftete konstruksjoner består av hele tømmerstokker som vegg og ofte takkonstruksjoner. Konstruksjonen er dermed meget tung sammenlignet med bindingsverk. Som fordel har laftete konstruksjoner enkel demontering, da de ofte holdes sammen av gravitasjon. Laftete konstruksjoner kan være et alternativ ved refundamentering, da konstruksjonen er satt sammen av hele tømmerstokker. Hele tømmerstokker har høy momentkapasitet, og det er mulig å plassere punktbæringer hvor som helst under konstruksjonen.

Ved lafteverk vil man ha mulighet til å heise hele bygget av eksisterende tomt og plassere det en annen plass midlertidig mens arbeidet utføres. Dette vil gjøre arbeidsprosessen mye lettere, da en kan jobbe uten å ta hensyn til eksisterende bolig under byggeprosessen for deretter å heise tilbake bygget etter utført arbeid. Eksempel på laftet konstruksjon som er blitt midlertidig flyttet under arbeidet vises under. Figur 10–14 (s. 44-46) viser i korte trekk hele prosessen fra start til slutt.

---

<sup>10</sup> [12]



*Figur 10: Konstruksjon før byggeprosessen*



*Figur 11: Bygget er flyttet og plassert på ståldragere som midlertidig bæring*



*Figur 12: Bygget er heiset tilbake og plassert på midlertidig bæring*



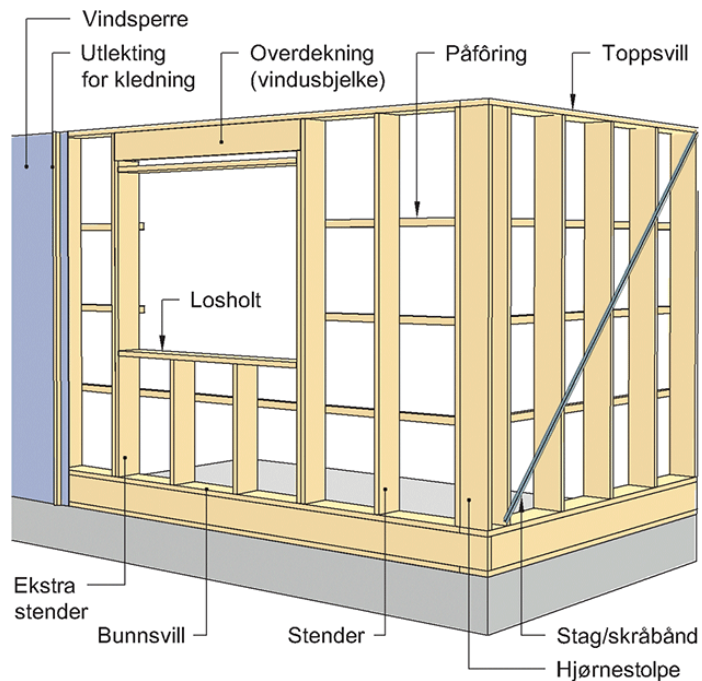
*Figur 13: Bygg plassert på permanent bæring 1*



Figur 14: Bygg plassert på permanent bæring 2

### 8.3. Bindingsverk

I dag er bindingsverk den mest populære måten å bygge trehus på i Norge. Bindingsverk er skjelettkonstruksjonen av et bygg. Konstruksjonen består av topp- og bunnsvill samt vertikale stender. For hver 60 cm plasseres stenderne, samt i hjørner og områder hvor åpninger som vinduer og dører skal være. På figur 15 kan man observere et eksempel på konstruksjon ved bruk av bindingsverk.



Figur 15: Eksempel bindingsverk<sup>11</sup>

<sup>11</sup> [5, s.177]

Når det fastsettes en midlertidig bæring av konstruksjonen, er det viktig med bruk av punktbæring slik at punktene plasseres under stenderne. Sammenlignet med laft er bindingsverk en mye lettere konstruksjon, men bindingsverk har bare mulighet til å ha bæringspunkt på stenderne<sup>12</sup>.

#### **8.4. Punktbæring**

Ved punktbæring for konstruksjonen som midlertidig bæring benyttes det ofte forskalingsstøtter. Forskalingsstøtter har teleskop med ett ytter- og innerrør. Dette gjør at rørene lett kan tilpasses flere grunnmurer og kan benyttes ved senking av kjellere. Ved senking kan man enkelt justere høyden på søylene ettersom gulvet senkes. Søylene er små og lette å montere. Svakheten med punktbæring er at konstruksjonen vil få et høyt press på et lite område, noe som kan forårsake skade ved for store avstander mellom flere søyler.

Man har også en mulighet til å plassere støttene inne i forskalingen på den nye grunnmuren for å støpe dem inn. Man støper da nesten helt opp til bunnsvill på huset. Etter forskalingen er revet, shimser man deretter mellom betongvegg og bunnsvill for å jevnt fordele trykket på veggen. Shims er en type plate som er med på å jevne ut ujevnheter.

#### **8.5. Ståldrager**

En ståldrage kan dimensjoneres for å overta lasten til gamle grunnmurer. Ståldrager kan da plasseres på innsiden av eksisterende grunnmur før den rives for å overta belastningen fra bygget. Ståldragene dimensjoneres etter lengden av eksisterende vegg, samt lastene fra eksisterende bygg. Forskalingsstøttene kan også plasseres under ståldrageren for å redusere spennvidden mellom bæringspunktene.

Ståldrager kan være mye arbeid å sette opp som midlertidig bæring, men det tilbyr mer versatilitet kontra forskalingsstøtter. Ved hus uten eksisterende kjeller eller krypkjeller, er ståldrager en god mulighet for ordning av midlertidig bæring da forskalingstøtter vil bli for lange. Flere eksempler på alternativ bæring av konstruksjoner med ståldrager kan ses på bildene under (figur 16-17, s. 47).

---

<sup>12</sup> [14]



*Figur 16: Eksempel 1 for midlertidig bæring ved hjelp av ståldeger*



*Figur 17: Eksempel 2 for midlertidig bæring ved hjelp av ståldeger*



## **9. Isolasjon og tetting av yttervegg mot terreng**

### **9.1. Generelt**

I dette kapittelet blir de grunnleggende prinsippene for tetting og varmeisolering av yttervegger mot terreng tatt rede for. Her legges det frem eksempler på løsninger og anbefalinger for god varmeisolering og sikringer mot fuktskader på veggen.

Det anbefales at minst halvparten av isolasjon bør plasseres på utsiden av ytterveggen. Dette gjør at montering av dampsperre på innsiden ikke vil være nødvendig for vanlige tørrom. Veggene vil i denne sammenheng ha en høyere og mer stabil temperatur, veggen vil dermed holde seg tørr, man unngår fuktdannelse som følge av kondens ved store temperatursvingninger og forskjeller på utsiden og innsiden av ytterveggen. Ved behov eller ønske, kan radon- og dampsperre fremdeles monteres. Løsningen kan også brukes over terreng om ønskelig.

Tradisjonelt har grunnmurplater vært montert direkte på betong- eller murvegg ofte med XPS eller annen isolasjon montert på utsiden av grunnmurplatene. Anbefalingen er derimot å plassere grunnmurplater på utsiden av utvendig isolasjon. Dette vil gjøre det mulig for en mer effektiv uttørking av betongen. Konstruksjonen vil dermed ha en bedre sikring mot fuktskader. Dersom isolasjonen plasseres på innsiden av grunnmurplaten, åpner dette for muligheten til å bruke dampåpent isolasjonsmateriale som EPS eller steinull istedenfor XPS. Man vil da få en mer fuktsikker vegg med samme isolasjonsevne, ofte for en billigere penge.

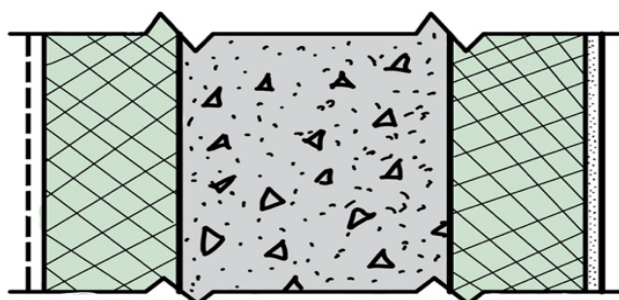
### **9.2. Varmeisolering**

I henhold til TEK 17 er det satt krav for maks verdi for veggkonstruksjonens gjennomsnittlige U-verdier i oppvarmede bygninger. Varmeisolasjon fra andre bygningsdeler kan i tilfeller der U-verdien ikke tilfredsstillende kravene omfordeles. Dette er da gitt at totalt varmetap fra bygningen ikke øker. I tabell 6 (s. 50) vises høyest gjennomsnittlig U-verdi i oppvarmede bygg iht. innetemperatur.

Tabell 6: Høyeste gjennomsnittlige U-verdi i oppvarmede bygg

	Innetemperatur, T (°C)				Uoppvarmet
	T ≥ 20	15 < T ≤ 20	10 < T ≤ 15	0 < T ≤ 10	
U-verdi W/(m <sup>2</sup> K)	0,22	0,28	0,4	0,6	0,8

For å sikre tørre vegger og redusere faren for fuktskader på innsiden av veggen, er det viktig at minst halvparten av isolasjonen blir plassert på utsiden av betongveggen. Ved bruk av dampåpen isolasjon på utsiden, oppnår man raskest uttørking på utsiden som gir tørre vegger. Om ønskelig kan man også isolere innsiden av betongveggen. Ved bruk av innvendig isolasjon er det viktig at tykkelsen ikke overgår mengden isolasjon på utsiden, slik at minst 50% av isolasjonen er på utsiden av veggen. Dette vil også være gjeldende for den andelen av veggen som er over terrenget. Figur 18 - 22 (s. 50-51) viser eksempler på oppbygging av veggkonstruksjoner mot terreng med isolasjon på innsiden og utsiden.

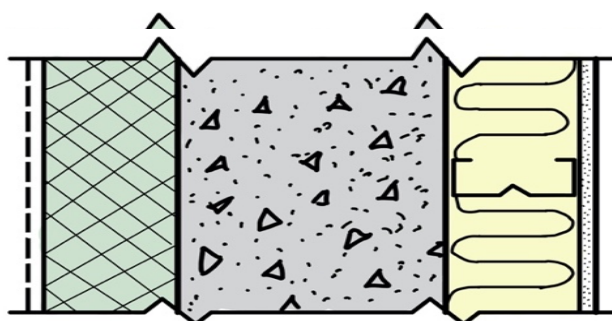


Figur 18: Betongvegg variant 1

Isolering: Minst 50% av isolasjonen plassert på utsiden av betongveggen

Utvendig oppbygging: 1. Utvendig isolasjon, 2. Grunnmurplate, 3. Drenerende tilbakefyllingsmasser

Innvendig oppbygging: 1. Isolasjon, 2. Platekledning

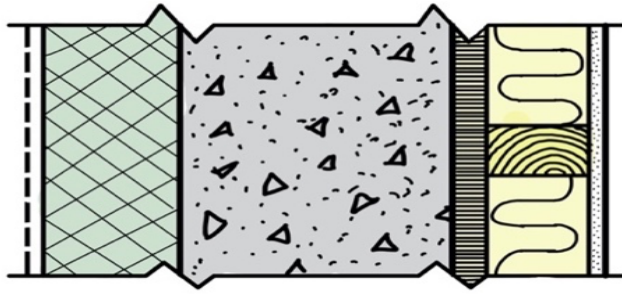


Figur 19: Betongvegg variant 2

Isolering: Minst 50% av isolasjonen plassert på utsiden av betongveggen

Utvendig oppbygging: 1. Utvendig isolasjon, 2. Grunnmurplate, 3. Drenerende tilbakefyllingsmasser

Innvendig oppbygging: 1. Stål stendere festet i betongveggen fylt med isolasjon, 2. Platekledning montert på stålstendere

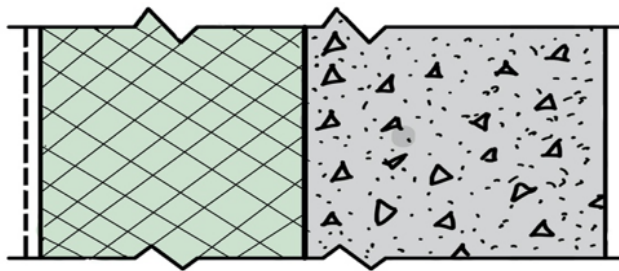


Figur 20: Betongvegg variant 3

Isolering: Minst 50% av isolasjonen plassert på utsiden av betongveggen

Utvendig oppbygning: 1. Utvendig isolasjon, 2. Grunnmurplate, 3. Drenerende tilbakefyllingsmasser

Innvendig oppbygning: 1. Kontinuerlig isolasjonssjikt, 2. Selvstendig bindingsverk i tre, 3. Platekledning montert på tre

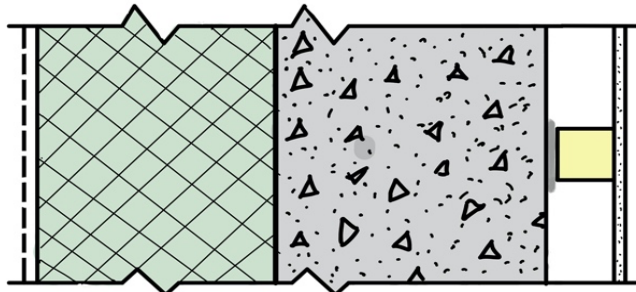


Figur 21: Betongvegg variant 4

Isolering: All isolasjon plassert på utsiden av veggen

Utvendig oppbygning: 1. Utvendig isolasjon, 2. Grunnmurplate, 3. Drenerende tilbakefyllingsmasser

Innvendig oppbygning: Betongoverflate, behandlet eller ikke er irrelevant



Figur 22: Betongvegg variant 5

Isolering: All isolasjon plassert på utsiden av veggen

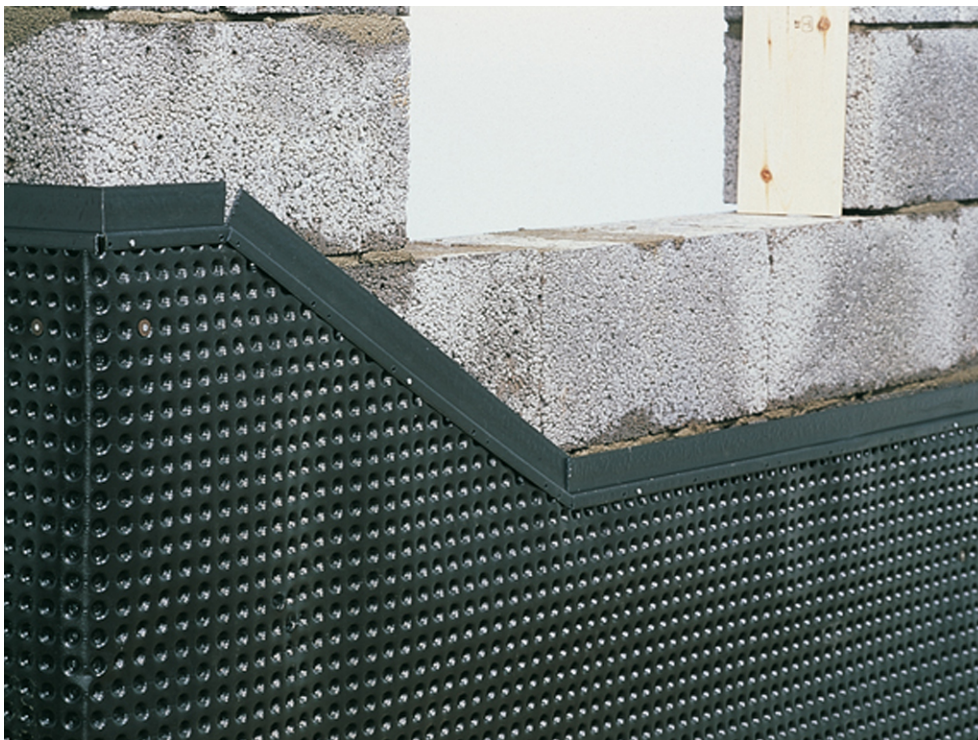
Utvendig oppbygning: 1. Utvendig isolasjon, 2. Grunnmurplate, 3. Drenerende tilbakefyllingsmasser

Innvendig oppbygning: 1. Grunnmurspapp, 2. Utlekking fra betongvegg, 3. Platekledning montert på lekter

### 9.3. Materialer

Når det gjelder materialvalg, er det hovedsakelig to alternativer som kan brukes. Det første alternativet tar i bruk dampåpen isolasjon sammen med grunnmurplater og drenerende tilbakefyllingsmasser til å skape god varmeisolasjon og fuktsikring. Dette for å skape et godt innneklima og forhindre eventuelle skader som ellers kan skje med veggen om dette ikke gjøres. Materialer med lav vanndampmotstandsfaktor som EPS og steinull er best om man

ønsker raskest uttørking av veggen, vanndampmotstandsfaktor  $\mu$  bør være mindre enn 10 for best mulig uttørking. Om behovet for uttørking av grunnmur ikke er så stort, kan man benytte EPS av tettere kvalitet. Disse plasseres helt inntil betongveggen. Grunnmurplater i form av tynne plastikk med knaster, se figur 23. Disse forhindrer skade på isolasjonen ved tilbakefylling og er vannavvisende. Grunnmurplaten fungerer dermed som et beskyttende sjikt for både betongveggen og isolasjonen mot byggegrunnen. Til slutt fylles et lag med drenerende masser inntil grunnmurplatene før den gamle massen legges tilbake. Den drenerende massen sørger for at overvann og vann fra grunnen skal samle seg opp ved betongveggen.



Figur 23: Grunnmurplate festet mot konstruksjon

Det andre alternativet tar i bruk drenerende isolasjon sammen med en fiberduk. Da får en mulighet til å bruke ikke-drenerende masser ved tilbakefylling. Man bruker her XPS plater som varmeisolasjon. Disse XPS platene har ett utført med vertikale riller. Disse kombinert med fiberduk sikrer en åpen drenering og isolering gjennom byggets levetid. Man vil med denne kombinasjonen ha mulighet til å tilbakefylle ikke-drenerende masser inntil fiberduken.

## **9.4. Varmetap og kuldebro**

### **9.4.1. Generelt**

Den vanligste kuldebroen i kjellere er mellom yttervegg og støpt gulv. Man må derfor ta høyde for dette ved kalkulering av varmetap. Det er mulig å redusere varmetap gjennom kuldebroer med isolasjon mellom vegg og gulv, samt minst 50 mm isolasjon under sålen.

### **9.4.2. Gulvisolasjon**

Dampåpen isolasjon som EPS gjør at fukt fra grunnen kan trekke inn i isolasjonen. Dette skyldes den åpne cellestrukturen. Ved bruk av EPS er det dermed viktig med fuktbeskyttelse mot grunn da vann som trenger inn i isolasjonen vil redusere varmeisolasjonen betraktelig. Det er derfor mer vanlig med XPS som varmeisolasjon mot grunn siden XPS har en lukket cellestruktur, noe som betyr at isolasjonsegenskapene ikke vil påvirkes i så stor grad av fukt fra grunnen. Andre alternativ som kan være aktuelle er skumglass, skumglass-pelletes og løs lettklinker.

### **9.4.3. Forhold i grunn som påvirker varmetap**

U-verdien for gulv under terreng avhenges av flere faktorer, for eksempel verdier for konstruksjonen som gulvstørrelse og tykkelse på ytterveggen. Overflater mot grunn vil påvirke hvordan varmetapet kalkuleres. Dette skyldes at det er flere faktorer i grunnen som påvirkes av varmetap fra bygget. Egenskaper som grunnens fysiske og termiske egenskaper, overvann og sigevann vil ha en påvirkning på varmetap.

### **9.4.4. Grunnens fysiske og termiske egenskaper**

Varmetapet påvirkes av grunnens fysiske og termiske egenskaper. Varmekonduktiviteten for grunnmassene vil ha en effekt på hvor effektivt varmen fra bygget ut av konstruksjonen gjennom grunnen, samt varmekapasiteten påvirker hvor effektivt temperaturendringer skjer i grunnen. Varmekapasiteten vil ha størst effekt i utkanten av bygget siden grunnmassene i midten av gulvet og veggene over tid vil varmes opp og oppnå en stabil temperatur nærmere innertemperatur, i motsetning hva som skjer i ytterkantene. Da grunnen ofte er en sammensetning av flere ulike materialer, har disse ulike varmekapasitet og varmekonduktivitet. Den gjennomsnittlige temperaturen vil også kunne variere i løpet av året, da det påvirkes av fuktinnholdet i grunnen.

#### 9.4.5. Overvann og sigevann

Gitt de fleste bygninger ikke ligger i et regionalt flatt område, kan sigevann ha en påvirkning på varmetap til grunnen. Etter at regnet har falt filtreres overvannet gjennom løsmassene.

Dersom overvannet kommer fra en topp, kan det opptre som sigevann i porøse masser mot fjellgrunnen. Vannet vil videre renne nedover og påvirke det eksisterende grunnvannet, da dette kan ha en høyere eller lavere temperatur enn det vanlige grunnvannet. Drenglaget under bygget fungerer ofte som en god fordrøyningsmasse og vei for overvannet. I løpet av ett år vil sigevannet og grunnvannstrømmene jevne ut temperaturen i grunnen, samt påvirke opparbeidet varme i grunnen under bygget.

#### 9.4.6. Utregninger

Varmetap gjennom bygninger kalkuleres ved bruk av U-verdier. For utregningene av normale U-verdier uten effekt fra terreng benyttes NS-EN ISO 6946. Tabell 7 viser eksempel på U-verdi for en 200 mm tykk betongvegg med 200 mm tykk EPS.

Tabell 7: U-verdi for 200 mm tykk betongvegg mm tykk EPS

Sjikt	Tykkelse d (mm)	Varmeledningsevne $\lambda$ (W/mK)	Varmemotstand ( $m^2K/W$ )
Innside			
Betong	200	1	0,2
EPS	200	0,038	5,26
Utside			
Sum (100%)			
<b>Total motstand</b>			<b>5,46</b>

Total motstand 5,46  $m^2K/W$

U-verdi 0,183  $W/m^2K$

Tillegg 0,015  $W/m^2K$

**U-verdi 0,198  $W/m^2K$**

Her er U-verdi gulv og vegger mot terreng referert til som ekvivalente U-verdier, det tas høyde for isolasjonsevne fra grunnen og byggets utstrekning. Den ekvivalente U-verdien er et gjennomsnitt for hele flaten, det vil derimot finnes kuldebroer som vil ha en høyere U-verdi

enn gitt etter kalkulasjonene. Ved kalkulasjoner for U-verdi mot terreng forutsettes det at man har kjennskap til flatens U-verdi uten effekten av terrenget. Ved kalkuleringene av disse utregningene, altså U-verdi for flater under terreng så benyttes NS-EN ISO 13370.

$$H_g = A * U + P * \psi_{wf} \quad (31)$$

Formel 15: Varmeoverføringskoeffisienten via grunn

hvor

$A$  = Arealet for gulvet, i  $m^2$

$U$  = Termisk overføring mellom indre og ytre miljø, i  $W/(m^2*K)$

$P$  = eksponerte perimeter fro gulvet, i  $m$

$\psi_{wf}$  = Lineære termiske overførsler fra gulv/vegg kryss, i  $W/(m^2*K)$

Tabell 8 viser termiske egenskaper for grunnen. Dersom grunntypen er ukjent benyttes kategori 2.

Tabell 8: Oversikt over varmeledningsevnen for ulike grunntyper

Kategori	Grunntype	Varmeledningsevne $\lambda_g$	Varmekapasitet per volum pc $J/(m^3*K)$
1	Leire eller silt	1,5	$3,0*10^6$
2	Sand eller grus	2	$2*10^6$
3	Homogen stein	3,5	$2*10^6$

Her trengs de karakteristiske dimensjonene for gulvet ( $B_2$ ). Denne brukes for til å ta høyden for den tre-dimensjonale måten for varmeledning og den totale tykkelsen ( $d_f$ ). Varmetap for gulv ( $U_{f:b}$ ) avhenger av den karakteristiske dimensjoneringen av gulvet mot grunnen ( $B_2$ ) og den totale ekvivalente tykkelsen ( $d_f$ ) som er gitt i likningene (32) og (33).

$$B_2 = \frac{A}{0,5*P} \quad (32)$$

Formel 16: Karakteristisk dimensjon for guly mot grunn

hvor

$B_2$  = karakteristiske dimensjonen for gulvet, i  $m$

$A$  = areal for gulvet, i  $m^2$

$P$  = eksponert perimeter rundt gulvet, i  $m$

$$d_f = d_{w;e} + \lambda_g * (R_{si} + R_{f;sog} + R_{se}) \quad (33)$$

Formel 17: Total ekvivalent tykkelse

hvor

$d_f$  = total ekvivalent tykkelse, i m

$d_{w;e}$  = hele tykkelsen på veggen, inkludert alle lag, i m

$\lambda_g$  = Termisk konduktivitet for grunnen, i W/(m\*K)

$R_{si}$  = Termisk motstand fra gulvet, inkludert alle lag med isolasjon over, under eller inni gulvet, og eventuelt gulvdekke, i m<sup>2</sup>\*K/W

$R_{f;sog}$  = Termisk motstand for indre overfalte, i m<sup>2</sup>\*K/W

$R_{se}$  = Termisk motstand for ytre overfalte, i m<sup>2</sup>\*K/W

Bruk likning (34) eller (35), avhengig av varmeisolasjonen for kjellergulvet. Dersom ( $d_f + 0,5 * z$ ) < B<sub>2</sub>, gjelder kalkulasjonene for uisolert til moderat isolert vegg (likning (34)). Om ( $d_f + 0,5 * z$ ) ≥ B<sub>2</sub>, gjelder kalkulasjonen for godt isolert vegg (likning (35)).

$$U_{fg;b} = \frac{2 * \lambda_g}{\pi * B_2 + d_f + 0,5 * z} * \ln \left( \frac{\pi * B_2}{d_f + 0,5 * z} + 1 \right) \quad (34)$$

Formel 18: U-verdi fra grunn for uisolert til moderat isolert vegg

hvor

$\lambda_g$  = Termisk konduktivitet for grunnen, i W/(m\*K)

$\pi$  = pi (3,14)

B<sub>2</sub> = karakteristiske dimensjonen for gulvet, i m

$d_f$  = Total ekvivalent tykkelse, i m

$z$  = Dybde, i m

$$U_{fg;b} = \frac{\lambda_g}{0,457 * B + d_f + 0,5 * z} \quad (35)$$

Formel 19: U-verdi fra grunn for godt isolert vegg

Når det gjelder varmetap for kjellervegger, er u-verdien for kjellervegger ( $U_{wg;b}$ ) avhengig av den tilsvarende tykkelsen for kjellerveggen ( $d_{w;b}$ ) gitt i likning (36).

$$d_{w;b} = \lambda_g * (R_{si} + R_{f;sog} + R_{se}) \quad (36)$$

Formel 20: Tilsvarende tykkelse for kjellervegg

hvor

$d_{w;b}$  = Tilsvarende tykkelse for kjellervegg, i m

$R_{w;b}$  = Total ekvivalent tykkelse, i m



$\lambda_g$  = Termisk konduktivitet for grunnen, i  $W/(m \cdot K)$

$R_{si}$  = Termisk motstand fra gulvet, inkludert alle lag med isolasjon over, under eller i gulvet, og eventuelt gulvdekke, i  $m^2 \cdot K/W$

$R_{se}$  = Termisk motstand for ytre overfalte, i  $m^2 \cdot K/W$

Man kan deretter regne  $U_{wg;b}$  ved hjelp av (37).

$$U_{wg;b} = \frac{2 \cdot \lambda_g}{\pi \cdot z} * \left( 1 + \frac{0,5 \cdot d_f}{d_f + z} \right) * \ln \left( \frac{z}{d_{w;b}} + 1 \right) \quad (37)$$

Formel 21: U-verdi for kjellervegg mot grunn, inkludert effekt fra terreng

hvor

$\lambda_g$  = Termisk konduktivitet for grunnen, i  $W/(m \cdot K)$

$\pi$  = Pi (3,14)

$B_2$  = Karakteristiske dimensjonen for gulvet, i m

$d_f$  = Total ekvivalent tykkelse, i m

$z$  = Dybde, i m

$d_{w;b}$  = Tilsvarende tykkelse for kjellervegg, i m

Så lenge ( $d_{w;b} \geq d_f$ ) skal begge likningene brukes. Om ( $d_{w;b} < d_f$ ), skal  $d_f$  erstattes med  $d_{w;b}$  i utregningen for  $U_{wg;b}$  i formel 21. Ved å bruke likning (38), kan man regne ut u-verdien for det gjennomsnittlige varmetapet som forekommer i hele kjelleren.

$$U_{bg;eff} = \frac{A \cdot U_1 + z \cdot P \cdot U_{w;b}}{A + z \cdot P} \quad (38)$$

Formel 22: U-verdi for gjennomsnittlig varmetap for hele kjelleren

hvor

$A$  = Areal for gulv

$U_1$  = U-verdi for gulv

$z$  = Dybde, i m

$P$  = Eksponert perimeter rundt betonggulv

$U_{w;b}$  = U-verdi for kjellervegg mot grunn, inkludert effekt fra terreng

Ved å modifisere varmeoverføringskoeffisienten mellom indre og ytre temperaturen (31) slik at den tar hensyn til varmetap fra grunn, kan man regne varmetapet for hele kjelleren. Denne modifiseringen kommer fram i likning (39).

$$H_g = A * U_{fg;b} + z * P * U_{wg;b} + P * \Psi_{w;f} \quad (39)$$

*Formel 23: Modifisert versjon for Formel 9 for å være gjeldende for flater mot terreng*

*hvor*

*A* = Areal for gulv, m<sup>2</sup>

*U<sub>fg;b</sub>* = U-verdi for kjellergulv inkludert effekt fra grunn

*z* = Dybde, i m

*P* = Eksponert perimeter rundt betonggulv

*U<sub>w;b</sub>* = U-verdi for kjellervegg mot grunn, inkludert effekt fra terreng

*Ψ<sub>w;f</sub>* = Innvendig termisk overføring for møte mellom vegg og gulv

## 10. Prosjekt

### 10.1. Introduksjon

Eksemplet som legges frem er et tidligere prosjekt gjennomført av Rogaland Bygg & Betong AS. Byggestedsadressen var en bolig ved Paradis i Rogaland. Prosjektet omhandlet refundamentering og senking av kjellergulv med en ny takhøyde på 2,4 m. Det ble også gjennomført mindre fasadeendringer i form av endringer av vindusplasseringer. Utenom kjeller støpt i betong består bygget av to etasjer i tre. Tredelen av bygget er sammensatt av lett bindingsverk med utvending og innvending kledning, samt isolasjon i vegger.

### 10.2. Grunnforhold

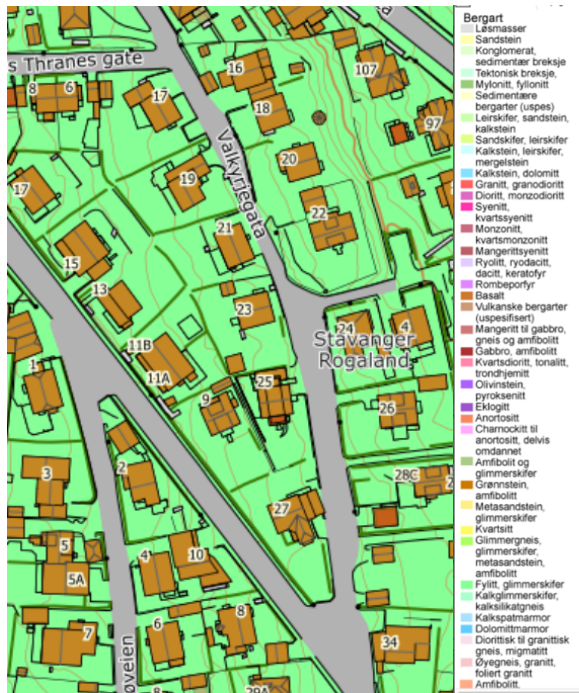
Når det kommer til en overfladisk analyse av grunnforholdene i området, kan man ta i bruk informasjonene som er tilgjengelig på Norges Geologiske Undersøkelser sine nettsider. Figur 24 og 25 viser kart over området hvor rehabiliteringen foregikk.



Figur 24: Kart av området, ngu.no

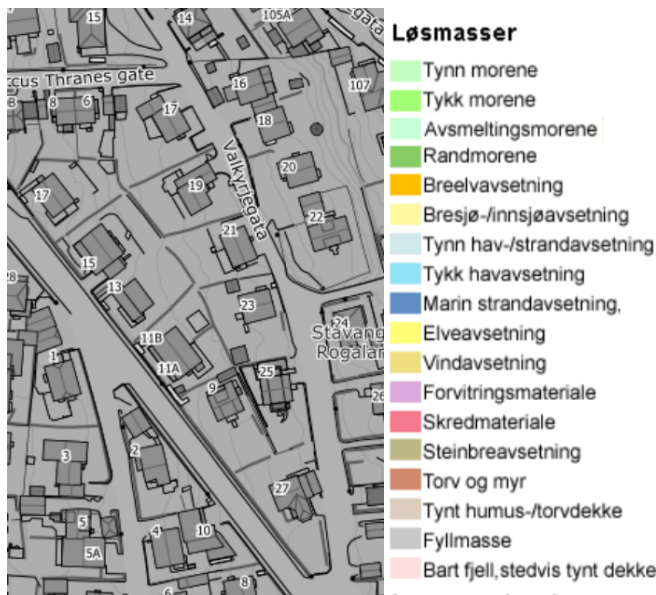


Figur 25: Zoom av figur 24 som viser eiendommen



Figur 26: Kart over fjellmasser, ngu.no

Figur 26 viser et kart over de ulike bergartene rundt boligen. Figur 27 viser et kart over de ulike løsmassene.



Figur 27: Kart over løsmasser, ngu.no

Figur 26 og 27 viser at tomten består enten av ren glimmergneis, glimmerskifer, metasandstein eller amfibolitt. Tomten kan derimot være en blanding av alle de ulike bergartene. Dermed kan man konkludere med at bygget står på stabil grunn, og det vil ikke være nødvendig med særlige tiltak for å sikre boligen uten om det vanlige.

### 10.3. Midlertidig bæring

Bildene i figur 28, 29 og 30 (s. 61-62) viser gjennomføring av en midlertidig bæring for boligen under arbeid. Man kan observere at det ble benyttet punktbæring og at all punktbæring er etablert før demolering av den gamle grunnmuren.



Figur 28: Midlertidig bæring 1



Figur 29: Midlertidig bæring 2



Figur 30: Midlertidig bæring 3

Når man skal finne laster for småboliger er det en del å ta hensyn til. Tabell 9 viser et anslag for massetettheten til de forskjellige konstruksjonsdelene. Det skal påpekes at det ikke er tatt høyde for uvanlig store bærelaster, som for eksempel en peis. Dette vil kreve ekstra bæring rundt området. Når det gjelder kalkulasjoner for gjennomsnittlige kvadratmetervekt på konstruksjonen for avstand og plassering av midlertidig bæring, viser tabell 9 hva som skal settes som konstant- og variabelast for beregningene.

Tabell 9: Kvadratmeter last

Kategori	Mengde	Enhet
Bindingsverk	0,5	kN/m <sup>2</sup>
Bjelkelag	1,1	kN/m <sup>2</sup>
Nyttelast	2	kN/m <sup>2</sup>

### 10.3.1. Snølast

$$S = u_i * c_e * c_k * s_k * S_{k,o}$$

(40)

Formel 24: Snølast kalkulasjon

hvor

$C_e$  = Faktor for topografiske endringer, NS-EN 1991-1-3:2003+NA2008 Tabell NA.5.1

$C_k$  = Faktor for spesielle forhold

$S_k$  = Faktor for høyde, gjellende dersom  $H < H_g$

$S_{k,o}$  = Snøfaktor på bakken, NS-EN 1991-1-3:2003+NA2008

$\alpha$  = Takvinkel for bygget, i grader

$U_i$  = Faktor for takvinkel, NS-EN 1991-1-3:2003+NA2008 Tabell NA.5.

$$S = 0,8 * 1 * 1 * 1 = 1,2 \text{ kN/m}^2 \quad (41)$$

hvor

$$C_e = 1,0$$

$$C_k = 1,0$$

$$S_k = 1,0$$

$$S_{k,o} = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$\alpha = 35^\circ$$

$$U_i = 0,8$$

### 10.3.2. Sum bjelkelag etasje 1 og 2

$$W_{Ed,1} = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k \quad (42)$$

Formel 25: 6.10 a)

hvor

$$\gamma_G = \text{Sikkerhetsfaktor for egenlast}$$

$$G_k = \text{Karakteristisk egenlast}$$

$$\gamma_Q = \text{Sikkerhetsfaktor for nyttelast}$$

$$Q_k = \text{Karakteristisk nyttelast}$$

$$W_{Ed,2} = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * \psi_0 * Q_k \quad (43)$$

Formel 26: 6.10 b)

hvor

$$\gamma_G = \text{Sikkerhetsfaktor for egenlast}$$

$$G_k = \text{Karakteristisk egenlast}$$

$$\gamma_Q = \text{Sikkerhetsfaktor for nyttelast}$$

$$Q_k = \text{Karakteristisk nyttelast}$$

$$\psi_0 = \text{Faktor for bygninger, gitt i NS-EN 1990:2002/NA:2008}$$

Formel 25 og 26 er hentet fra NS-EN 1990:2002 Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner. Videre vises det hvordan formlene er brukt for det gitte tilfellet.

$$W_{Ed,1} = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * Q_k \quad (44)$$

Formel 27: 6.10 a) bjelkelag 1 og 2

hvor

$$\begin{aligned} \gamma_G &= 1,2 \\ G_k &= 1,1 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_Q &= 1,5 \\ Q_k &= 2 \text{ kN/m}^2 \\ W_{Ed,1} &= 4,32 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$W_{Ed,2} = \gamma_G * G_k + \gamma_Q * \psi_0 * Q_k \quad (45)$$

Formel 28: 6.10 b) bjelkelag 1 og 2

hvor

$$\begin{aligned} \gamma_G &= 1,2 \\ G_k &= 1,1 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_Q &= 1,5 \\ Q_k &= 2 \text{ kN/m}^2 \\ \psi_0 &= 0,7 \\ W_{Ed,2} &= 3,585 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

Formel 27 og 28 viser at den største verdien for  $W_{Ed}$  er gitt ved 6.10a. Vi bruker derfor 6.10a ( $W_{Ed,1} = 4,32 \text{ kN/m}^2$ ) for første og andre etasje ( $\gamma_G = 1,2$  og  $\gamma_Q = 1,5$ ). Forskalingsstøttene har en bæreevne på 35kN, det vil si at maks avstand mellom hver forskalingsstøtte settes som 1,8 m.

$$\text{Areal per søyle} = 35\text{kN} / 6,12\text{kN/m}^2 = 5,71\text{m}^2$$

$$\text{Avstand mellom hver søyle} = \sqrt{5,71} = 2,39 \text{ m}$$

### 10.3.3. Sum bjelkelag tak

$$W_{Ed,1} = \gamma_G G_k + \gamma_Q Q_k \quad (46)$$

Formel 29: 6.10 a) tak

hvor



$$\begin{aligned}\gamma_G &= 1,2 \\ G_k &= 1,1 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_Q &= 1,5 \\ Q_k &= 1,2 \text{ kN/m}^2 \\ W_{Ed,1} &= 3,12 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

$$W_{Ed,2} = \gamma_G G_k + \gamma_Q \psi_0 Q_k \quad (47)$$

Formel 30: 6.10 b) tak

hvor

$$\begin{aligned}\gamma_G &= 1,35 \\ G_k &= 1,1 \text{ kN/m}^2 \\ \gamma_Q &= 1,5 \\ Q_k &= 1,2 \text{ kN/m}^2 \\ \psi_0 &= 0,7 \\ W_{Ed,2} &= 2,75 \text{ kN/m}^2\end{aligned}$$

Vi bruker 6.10a ( $W_{Ed,1} = 3,12 \text{ kN/m}^2$ ) for takkonstruksjonen ( $\gamma_G = 1,2$  og  $\gamma_Q = 1,5$ ).

$$A_4 = L_1 * B_1 \quad (48)$$

Formel 31: Areal for etasjene

hvor

$$\begin{aligned}L_1 &= \text{Lengden på boligen, i m} \\ B_1 &= \text{Bredde på bolig, i m}\end{aligned}$$

$$A_4 = 8,5 * 9 = 76,5 \text{ m}^2 \quad (48)$$

hvor

$$\begin{aligned}L_1 &= 9 \text{ m} \\ B_1 &= 8 \text{ m}\end{aligned}$$

Betydning for karakteristiske verdier kalkulert ved hjelp av 6.10

hvor

$$\begin{aligned}G_{\text{gulv}} &= \text{Egenlast gulv} \\ G_{\text{vegg}} &= \text{Egenlast vegg} \\ Q &= \text{Nyttelast} \\ S &= \text{Snølast}\end{aligned}$$

For prosjektet gitt i dette eksempelet er det kalkulert disse verdiene, som videre er benyttet til å regne tilstrekkelig bæring for bygget.

$$G_{gulv} = 1,1 * \gamma_G = 1,32 \text{ kN/m}^2 \quad (49)$$

$$G_{vegg} = 0,5 * \gamma_G = 0,6 \text{ kN/m}^2 \quad (50)$$

$$Q = 2 * \gamma_Q = 3 \text{ kN/m}^2 \quad (51)$$

$$S = 1,2 * \gamma_Q = 1,26 \text{ kn/m}^2 \quad (52)$$

### 10.3.4. Lastfordeling på kortsida

$$A_2 = H_3 * B_1 + \frac{H_4 * B_1}{2} \quad (53)$$

Formel 32: Areal for vegg kortsida på bolig med mønetak

hvor

$H_3$  = Høyde fra bunn 1. etasje til bunn mønetak

$B_1$  = Bredde på bolig

$H_4$  = Høyde fra bunn til topp mønetak

Her setter man inn verdier for den gjellende boligen og får dermed

$$A_2 = 5,92 * 8,5 + 6,2 * 8,5/2 = 76,67 \text{ m}^2 \quad (54)$$

hvor

$H_3$  = 5,92 m

$B_1$  = 8,5 m

$H_4$  = 6,2 m

For å regne gjennomsnittslasten for hele veggen, må man sette sammen svarene fra likning (44), (46) og (54).

$$W_{Ed,L} = \frac{W_{Ed, bjelkelag+tak} * L_1}{4} + \frac{G_{vegg} * A_2}{B_1} \quad (55)$$

hvor

$W_{Ed, bjelkelag}$  = Likning (46)

$W_{Ed, tak}$  = Likning (48)

$L_1$  = Lengden på boligen, i m

$B_1$  = Bredde på bolig, i m

$G_{vegg}$  = Egenlast vegg

$A_2$  = Areal for vegg kortsida på bolig med mønetak

$$W_{Ed,L} = \frac{(4,32+3,12)*9}{4} + \frac{0,6*76,67}{8,5} = 18,7 \text{ kN/m} \quad (56)$$

hvor

$$\begin{aligned}
W_{Ed, \text{bjelkelag}} &= 4,32 \text{ kN/m}^2 \\
W_{Ed, \text{tak}} &= 3,12 \text{ kN/m}^2 \\
L_1 &= 4,5 \text{ m} \\
B_1 &= 8,5 \text{ m} \\
G_{\text{vegg}} &= 0,6 \text{ kN/m}^2 \\
A_2 &= 76,67
\end{aligned}$$

$$\text{Maks tillatt avstand mellom søyler} = \frac{S_1}{W_{Ed}} \quad (57)$$

Formel 33: Maks avstand mellom søyler

hvor

$$S_1 = \text{Maks bæreevne per søyle}$$

$$\text{Maks avstand mellom søyler for kortsiden} = \frac{35}{18,7} = 1,8 \text{ m} \quad (58)$$

hvor

$$S_1 = 35 \text{ kN}$$

$$W_{Ed} = 18,7 \text{ kN/m}$$

### 10.3.5. Lastfordeling på langsiden

$$A_3 = H_3 * L_1 \quad (59)$$

Formel 34: Areal for vegg på langside

hvor

$$H_3 = \text{Høyde fra bunnsvill til bunn mønetak, i m}$$

$$L_1 = \text{Lengden på boligen, i m}$$

$$A_3 = 5,92 * 9 = 53,28 \text{ m}^2 \quad (60)$$

hvor

$$H_3 = 5,92 \text{ m}$$

$$L_1 = 9 \text{ m}$$

$$W_{Ed,L} = \frac{W_{Ed}(\text{bjelkelag} + \text{takkonstruksjon}) * B_1}{2} + \frac{G_{\text{vegg}} * A_3}{L_1} \quad (61)$$

hvor

$$W_{Ed, \text{bjelkelag}} = \text{Likning (46)}$$

$$W_{Ed, \text{tak}} = \text{Likning (48)}$$

$$L_1 = \text{Lengden på boligen, i m}$$

$$B_1 = \text{Bredde på bolig, i m}$$

$$G_{\text{vegg}} = \text{Egenlast vegg}$$

$$A_3 = \text{Areal for vegg på langside}$$

$$W_{Ed,L} = \frac{(4,32+3,12)*8}{4} + \frac{0,6*53,28}{9} = 15,35 \text{ kN/m} \quad (62)$$

hvor

$$W_{Ed, \text{bjelkelag}} = 4,32 \text{ kN/m}^2$$

$$W_{Ed, \text{tak}} = 3,12 \text{ kN/m}^2$$

$$L_1 = 4,5 \text{ m}$$

$$B_1 = 8,5 \text{ m}$$

$$G_{\text{vegg}} = 0,6 \text{ kN/m}^2$$

$$A_3 = 53,38 \text{ m}$$

$$\text{Maks tillatt avstand mellom søyler} = \frac{\text{Maks bæreevne per søyle}}{W_{Ed}} \quad (63)$$

Formel 35: Maks avstand mellom søyler

hvor

$$S_1 = \text{Maks bæreevne per søyle}$$

$$\text{Maks avstand mellom søyler for langsiden} = \frac{35}{15,36} = 2,2 \text{ m} \quad (64)$$

hvor

$$S_1 = 35 \text{ kN}$$

$$W_{Ed} = 15,36 \text{ kN/m}^2$$

For det gjeldende prosjektet ble det plassert søyler med omtrent 1,5 m avstand mellom hverandre. På bakgrunn av beregningene utført, kan man observere at dette er godt innenfor sikkerhetsmarginen.

#### 10.4. Fjerning av gammel grunnmur

På figur 31 (s. 69) ser man bilde av den gamle grunnmuren før prosessen startet. Grunnmuren hadde en tykkelse på 35-40 cm, avhengig av hvor og hvordan man målte. Det var ingen eksisterende fuktsikring eller utvendig isolasjon. Veggene var dermed særlig utsatt for fuktskade og fuktdannelser i bygget som følge av kondens på grunn av temperaturulikhetene i veggene.



*Figur 31: Gammel grunnmur*



*Figur 32: Riving av gammel grunnmur*

Den gamle grunnmuren ble revet ved bruk av en minigraver og meisel. Bildet for litt av prosessen vises i figur 32. Dette gjøres for å få plass til etablering av en ny plasstøpt grunnmur. Grunnmuren lages ved bruk av forskalingskassetter.



*Figur 33: Forskalingskassetter 1*

Eksempler på forskalingskassetter kan ses på figur 33 og 34. Det må nevnes at disse bildene er fra et annet prosjekt. Når den gamle grunnmuren er revet, vil det gjøres klar for støp til ny kjellervegg.



*Figur 34: Forskalingskassetter 2*

### **10.5. Ny kjellervegg / grunnmur**

Etter at den gamle grunnmuren er revet, begynner forskalingen til de nye veggene. Prosessen vises i figur 35 - 38 (s. 71-72). Her ble det støpt en 200 mm tykk betongvegg. Betongen som ble benyttet i veggen hadde fasthetsklasse B30 og bestandighetsklasse M60. For den stående

armeringen var det benyttet forskalingsstøtter som ble plassert med en meters avstand fra hverandre, samt ekstra jern rundt utsparinger. Til den liggende armeringen ble det tatt i bruk kam12 med cc 40 cm.



*Figur 35: Ny kjellervegg 1*



*Figur 36: Ny kjellervegg 2*



*Figur 37: Ny kjellervegg 3*



Figur 38: Ny kjellervegg 4

## 10.6. Isolering og tetting

Figur 39 viser et bilde hvor det er mulig å se at veggene er dekket med Platon. Platon er en type grunnmurplater rett på kjellerveggen, kombinert med 10 cm Neopor som isolasjon. Neopor inneholder små grafittpartiklar som absorberer og reflekterer infrarøde stråler. Dette minker varmeledningsevnen, noe som resulterer i 20% høyere isolasjonsevne enn vanlig EPS. Neopor er også mer fuktavstøtende enn vanlig EPS, dette er grunnen til at Neopor er plassert på utsiden av Platon-platene.



Figur 39: Isolering og tetting av kjeller

Til støp av kjellergulv er det blitt tatt høyde for etablering av en radonbrønn og isolering av gulv med 10 cm Neopor. Radonduk er lagt over isolasjonen og festet med klemlister mot de eksisterende veggene. Til armering er det benyttet et lag med K189 armering til 7-10 cm støp for gulvet.



## 11. Konklusjon

En kan konkludere med at dette er en meget omfattende, kostbar og tidkrevende prosess. Det man derimot ender opp med er en helt ny bruksetasje og fundament i boligen, og ikke en usikkerhet om problemer som kan forekomme i fremtiden på grunn av en gammel grunnmur. Under en slik refundamentering er det også mulig å søke om tilskudd fra ENOVA som følge av ny isolering av bygget, noe som gjør prosjektet billigere. Resultatet av en slik refundamentering vil blant annet være en drastisk endring i strømforbruket. Bakgrunnen til dette er da at varmetapet fra boligen reduseres.

De største fordelene ved en slik refundamentering omhandler hovedsakelig ved trygghet, plass økning og energiforbruk. Med en helt ny kjeller så har boligen fått et betraktelig større bruksareal (BRA), samt at den står på virkelig trygg grunn, er ordentlig sikret mot fuktskader og skadedyr. Boligen vil også ha en forbedret energiklasse, noe som kan være veldig attraktivt for fremtidige kjøpere. Dette vil gjøre at man vil kunne hente inn de ekstra kostnadene sammenlignet med gjennomføring av understøp som vil være det andre alternativet.

## 12. Standarder

Kode	Norsk Tittel
NS-EN 206	Betong – Spesifikasjon, egenskaper, framstilling og samsvar
NS-EN 1990	Eurokode: Grunnlag for prosjektering av konstruksjoner
NS-EN 1991-1-6	Eurokode 1: Laster på konstruksjoner – Del 1-6: Allmenne laster
NS-EN 1992-1-1	Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner – Del 1-1: Allmenne regler og regler for bygninger
NS-EN 1992-1-2	Eurokode 2: Prosjektering av betongkonstruksjoner – Del 1-2: Brannteknisk dimensjonering
NS-EN 1997-1	Eurokode 7: Geoteknisk prosjektering – Del 1: Allmenne regler
NS 3465	Utførelse av betongkonstruksjoner – Allmenne regler (Erstattet av NS-EN 13670)
NS 3473	Prosjektering av betongkonstruksjoner – Beregnings- og konstruksjonsregler (erstattet av NS-EN 1992-1-1, NS-EN 1992-1-2, NS-EN 1992-2 og NS-EN 1992-3)
NS 3490	Prosjektering av konstruksjoner – Krav til pålitelighet (Erstattes av NS-EN 1990)
NS 3576-3	Armeringsstål – Mål og egenskaper – Del 3: Kamstål B500NC
NS-EN ISO 6946	Bygningskomponenter og elementer – Varmemotstand og varmegjennomgangskoeffisient – Beregningsmetoder (ISO 6946:2017)
NS-EN ISO 13370	Bygningers termiske egenskaper – Varmeroverføring via grunnen - Beregningsmetoder (ISO 13370:2017)

### 13. Bibliografi

- [1] M.G. Bæverfjord et al., «Veiledning og Symboler og Definisjoner i Geoteknikk: Identifisering og Klassifisering av Jord,» *Norsk Geoteknisk Forening*, nr. 2, s. 8 – 49, 2011. [Online]. Hentet fra: [http://ngf.no/wp-content/uploads/2015/03/2\\_NGF-ny-melding-2-endelig-utgave-2011-12-04-med-topp-og-bunntekst-Alt-3.pdf](http://ngf.no/wp-content/uploads/2015/03/2_NGF-ny-melding-2-endelig-utgave-2011-12-04-med-topp-og-bunntekst-Alt-3.pdf)
- [2] SINTEF Byggforsk, «511.101 Byggegrunn og terreng,» i *Byggforskserien*, 2012. [Online]. Hentet fra [https://byggforsk.no/dokument/240/byggegrunn\\_og\\_terreng#i33](https://byggforsk.no/dokument/240/byggegrunn_og_terreng#i33). Lastet ned: 04.04.2022.
- [3] J.V. Thue, «jordtrykk» i Store Norske Leksikon, 2019. [Online]. Hentet fra: <https://snl.no/jordtrykk>. Lastet ned: 09.04.2022.
- [4] O.R. Aarhaug, «5 Jordtrykk,» i *Geoteknikk*, 1. utg. Bekkestua, Norge: NKI Forlaget, 2012, kap. 5, s. 251 – 314.
- [5] K.I. Edvardsen et al., *Håndbok 5 Trehus*, 5. utg. Oslo, Norge: SINTEF, 2014, kap. 5, s. 177 – 179.
- [6] SINTEF Byggforsk, «727.115 Senking av golv i eksisterende kjeller og kryperom», 1999. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/2752/senking\\_av\\_golv\\_i\\_eksisterende\\_kjeller\\_og\\_kryperom](https://www.byggforsk.no/dokument/2752/senking_av_golv_i_eksisterende_kjeller_og_kryperom). Lastet ned: 21.04.2022.
- [7] Plan- og bygningslov, 1986 [Online]. Hentet fra: <https://lovdata.no/lov/1985-06-14-77/§87>
- [8] SINTEF Byggforsk, «721.112 Eldre bygningsfundamenter og grunnmurer. Utbedring og refundamentering», 2006. [Online]. Hentet fra [https://byggforsk.no/dokument/666/eldre\\_bygningsfundamenter\\_og\\_grunnmurer\\_utbedring\\_og\\_refundamentering](https://byggforsk.no/dokument/666/eldre_bygningsfundamenter_og_grunnmurer_utbedring_og_refundamentering). Lastet ned: 23.04.2022

- [9] SINTEF Byggforsk, «727.121 Fukt i kjellere. Årsaker og utbedring», 2006. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/698/fukt\\_i\\_kjellere\\_aarsaker\\_og\\_utbedring](https://www.byggforsk.no/dokument/698/fukt_i_kjellere_aarsaker_og_utbedring). Lastet ned: 25.04.2022.
- [10] SINTEF Byggforsk, «511.204 Enkle grunnundersøkelser for bygging av småhus», 2012. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/241/enkle\\_grunnundersoekelser\\_for\\_bygging\\_av\\_smaa\\_hus](https://www.byggforsk.no/dokument/241/enkle_grunnundersoekelser_for_bygging_av_smaa_hus). Lastet ned: 25.04.2022.
- [11] SINTEF Byggforsk, «523.127 Betongvegg mot terreng», 2004. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/349/betongvegg\\_mot\\_terreng](https://www.byggforsk.no/dokument/349/betongvegg_mot_terreng). Lastet ned: 07.05.2022.
- [12] J.V. Thue, «lafting» i Store norske leksikon, 2021. [Online]. Hentet fra <http://snl.no/etikk>. Lastet ned: 09.05.2022.
- [13] E. Karlsen, *Lærebok i lafting*, 2. utg. Oslo, Norge: Universitetsforlaget, 1993.
- [14] A. Gunnarsjaa og P. Rygh, «bindingsverk» i Store norske leksikon, 2021. [Online]. Hentet fra <https://snl.no/bindingsverk>. Lastet ned: 09.05.2022.
- [15] SINTEF Byggforsk, «523.111 Yttervegger mot terreng. Varmeisolering og tetting», 2015. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/3304/yttervegger\\_mot\\_terreng\\_varmeisolering\\_og\\_tetting](https://www.byggforsk.no/dokument/3304/yttervegger_mot_terreng_varmeisolering_og_tetting). Lastet ned: 09.05.2022.
- [16] SINTEF Byggforsk, «471.014 U-verdier. Gulv på grunnen og vegger mot terreng», 2018. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/1536/u-verdier\\_gulv\\_paa\\_grunnen\\_og\\_vegger\\_mot\\_terreng](https://www.byggforsk.no/dokument/1536/u-verdier_gulv_paa_grunnen_og_vegger_mot_terreng). Lastet ned: 09.05.2022.
- [17] SINTEF Byggforsk, «521.112 Gulv på grunnen med ringmur. Telesikring og varmeisolering av oppvarmede bygninger», 2019. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/1541/gulv\\_paa\\_grunnen\\_med\\_ringmur\\_telesikring\\_og\\_varmeisolering\\_av\\_oppvarmede\\_bygninger](https://www.byggforsk.no/dokument/1541/gulv_paa_grunnen_med_ringmur_telesikring_og_varmeisolering_av_oppvarmede_bygninger). Lastet ned: 09.05.2022.

[18] SINTEF Byggforsk, «471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946», 2018. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning\\_av\\_u-verdier\\_etter\\_ns-en\\_iso\\_6946](https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946). Lastet ned: 09.05.2022.

[19] SINTEF Byggforsk, «520.706 Sikring mot radon ved nybygging», 2018. [Online]. Hentet fra [https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning\\_av\\_u-verdier\\_etter\\_ns-en\\_iso\\_6946](https://www.byggforsk.no/dokument/208/beregning_av_u-verdier_etter_ns-en_iso_6946). Lastet ned: 09.05.2022.

#### **14. Aktuelle vedlegg**

[20] Optimera AS. «Temahefte 3: Bunn og grunn.» Optimera.no, Hentet fra: [https://www.optimera.no/globalassets/brosjyrer-og-kataloger/2016-og-2017/pdf-av-brosjyre/i\\_bunn\\_og\\_grunn.pdf/download](https://www.optimera.no/globalassets/brosjyrer-og-kataloger/2016-og-2017/pdf-av-brosjyre/i_bunn_og_grunn.pdf/download) (Lastet ned: 26.04.2022)

[21] DSA «Anbefalte grenser for radon.» DSA.no, Hentet fra: <https://dsa.no/radon/anbefalte-grenser-for-radon> (Lastet ned: 12.05.2022)

[22] H. Zeeb & F. Shannoum, «WHO Handbook on indoor radon: a public health perspective,» WHO, Geneva, Switzerland, 2019. [Online] Hentet fra: [https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673\\_eng.pdf;jsessionid=F C80F32AAF9C59FDA6BEFEB19CE8B0E1?sequence=1](https://apps.who.int/iris/bitstream/handle/10665/44149/9789241547673_eng.pdf;jsessionid=F C80F32AAF9C59FDA6BEFEB19CE8B0E1?sequence=1).

[23] Moelven Limtre AS. «S-bjelken – sterkere og stivere,» moelven.com, Hentet fra: <https://www.moelven.com/globalassets/moelven-limtre/brosjyrer/brosjyre-s-bjelken-moelven-limtre-november-2021.pdf> (Lastet ned: 14.05.2022)