

## **Bilaga 2**

# **Konceptuella beskrivningar av tekniska lösningar för begränsning av ånginträngning för planerade byggnader vid Östra Cisternområdet, Kvarnholmen, Stockholm, Sverige.**

*Framtaget för*

**SWECO Environment AB**

Drottningtorget 14  
Box 286  
SE-201 22 Malmö, Sweden

*Framtaget av*

Geosyntec Consultants, Inc.  
130 Research Lane, Suite 2  
Guelph, Ontario N1G 5G3

Project Number MR1118

Datum engelsk version 2015-02-26

Datum svensk version 2015-03-10

## **Förord**

Denna PM med tillhörande ritningsbilagor är framtagen av Geosyntec Consultans, Inc. 2015-02-26 för och i samarbete med Sweco Environment AB. Sweco har sedan översatt texten från engelska till svenska samt anpassat ritningarnas format till uppställda krav. Slutlig datering för den svenska versionen av PM är 2015-03-10.

## Innehållsförteckning

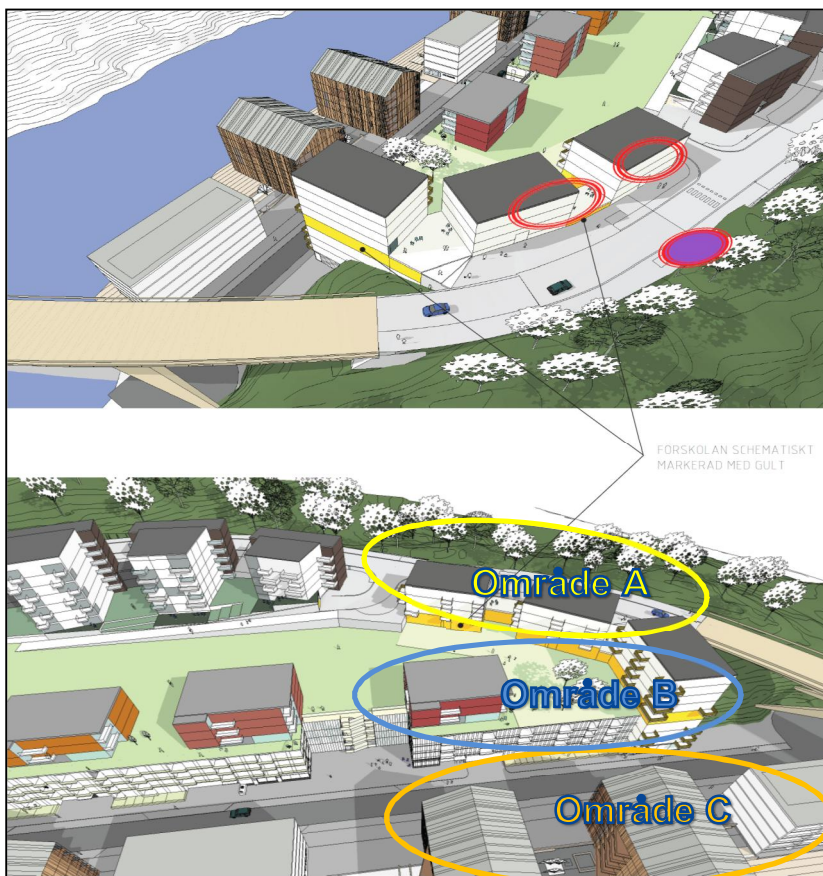
1.	INTRODUKTION .....	1
2.	KONCEPTUELL MODELL .....	2
3.	BYGGNADER.....	3
4.	KONCEPTUELL BESKRIVNING AV ÅNGINTRÄNGNING OCH TEKNISKA ÅTGÄRDER .....	5
5.	TEKNISKA ÅTGÄRDSALTERNATIV FÖR ATT REDUCERA ÅNGINTRÄNGNING .....	7
5.1	PASSIVA BARRIÄRER/TÄTSKIKT OCH LUFTNINGSSYSTEM.....	7
5.2	AKTIVA VENTILATIONSSYSTEM.....	10
5.3	LUFTADE/VENTILERADE GOLVSYSTEM .....	11
6.	REKOMMENDATIONER.....	13
6.1	AREA A – BYGGNADER N5 OCH N6.....	13
6.2	AREA B – BYGGNAD M5 OCH M6.....	14
6.3	AREA C – BYGGNAD L4, L5, AND L7 .....	14

## 1. INTRODUKTION

Detta tekniska PM har upprättats av Geosyntec Consultants Inc. på uppdrag av och i samarbete med Sweco Environment i syfte att sammanställa möjliga tekniska åtgärdsmetoder som kan användas för att hantera risken för ånginträngning samt rekommenderade lösningar för tre typer av flerbostadshus som ska byggas på Kvarnholmen i Nacka kommun. De planerade bostäderna syns i figur 1 tillsammans med tre olika områden där åtgärder mot inträngning av ånga i byggnader planeras.

I avsnitt 2 sammanfattas den konceptuella modellen för risker med ånginträngning på platsen, vilket följs av en beskrivning av platsen och de byggnader som är aktuella i avsnitt 3. Grundläggande koncept för åtgärder/åtgärdslösningar redovisas i avsnitt 4. I avsnitt 5 redovisas de olika tekniska åtgärdslösningar som kan vara aktuella på platsen, inklusive en diskussion om alternativens typiska funktionalitet och kostnadsintervall baserat på liknande lösningar på andra platser, för- och nackdelar med respektive alternativ. Slutligen presenteras rekommenderade lösningsalternativ i avsnitt 6.

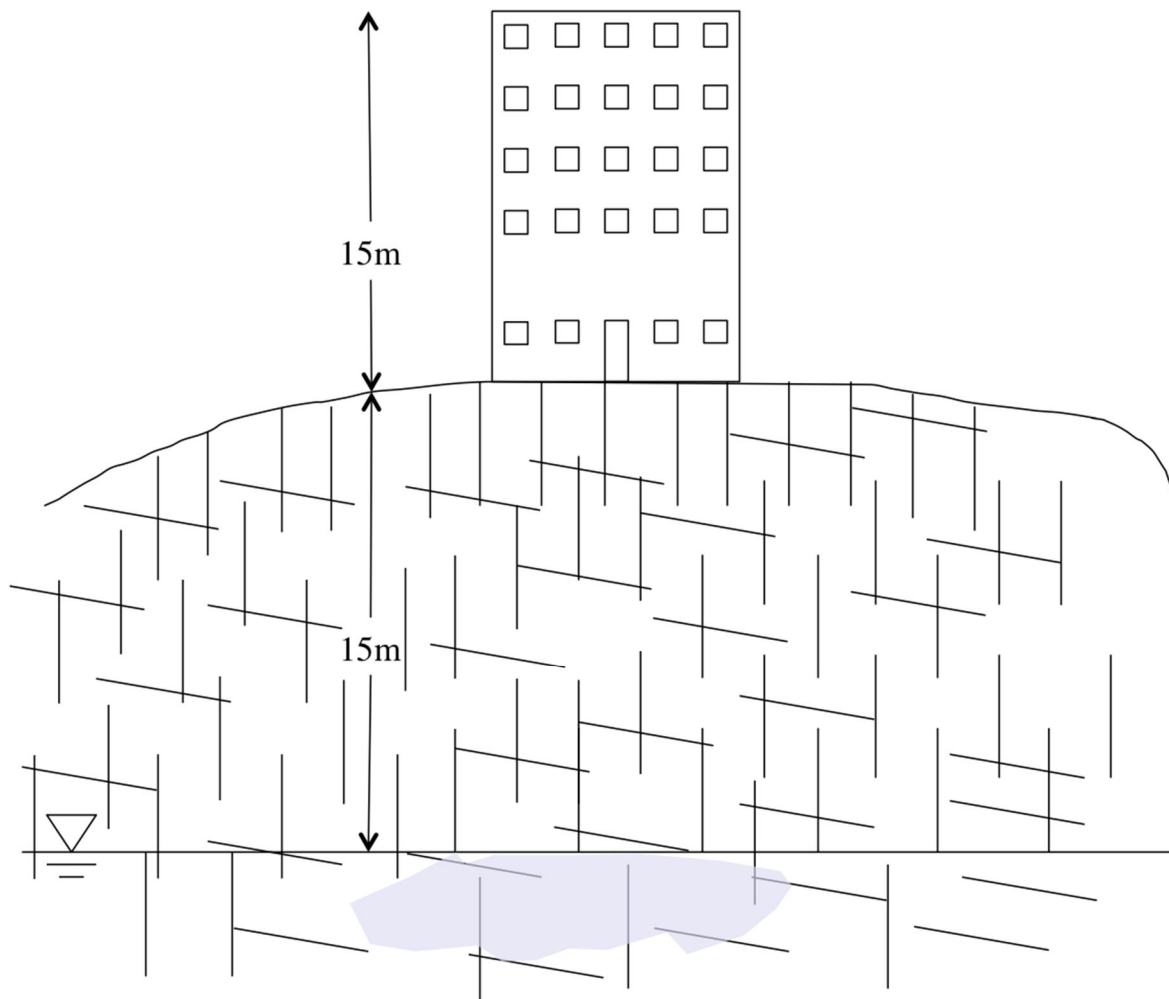
Eftersom detta PM samt ritningar som beskriver tekniska lösningar är på en konceptuell nivå ska bygglovshandlingar för de hus som omfattas av detta PM innefatta detaljprojektering av tekniska lösningar för skydd mot ånginträngning.



**Figur 1.** Schematisk avbildning av föreslagna byggnader. Röda ellipser visar läge för de f.d. cisternerna, lila ellips visar läge för f.d. cistern för lagring av tetrakloreten, den gula våningen är den sammanhängande bottenvåningen. Läget för de olika åtgärdsområdena A-C.

## 2. KONCEPTUELL MODELL

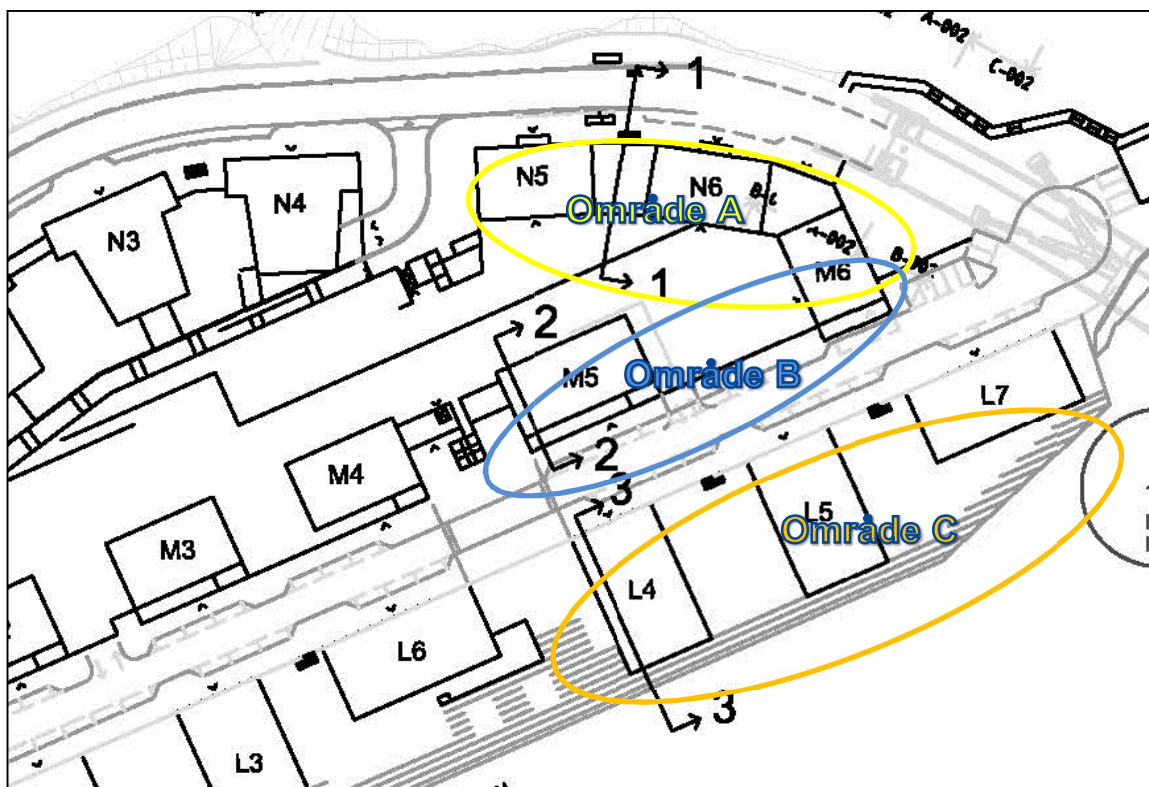
De planerade byggnaderna är flerbostadshus bestående av flera delar som tar upp en stor markyta (Ungefärlig yta bottenplan  $A_{hus} \sim 300 \text{ m}^2$ ) och flera våningar (ungefärlig volym  $V_{hus} \sim 4\,500 \text{ m}^3$ ). Den totala porositeten i berget är ca 0,3 %, och vattenmättningen i sprickor under byggnaden (efter byggnation) kommer att vara låg. Djupet till föroreningskällan är ca 15 m. En platspecifik konceptuell modell visas i figur 2 nedan.



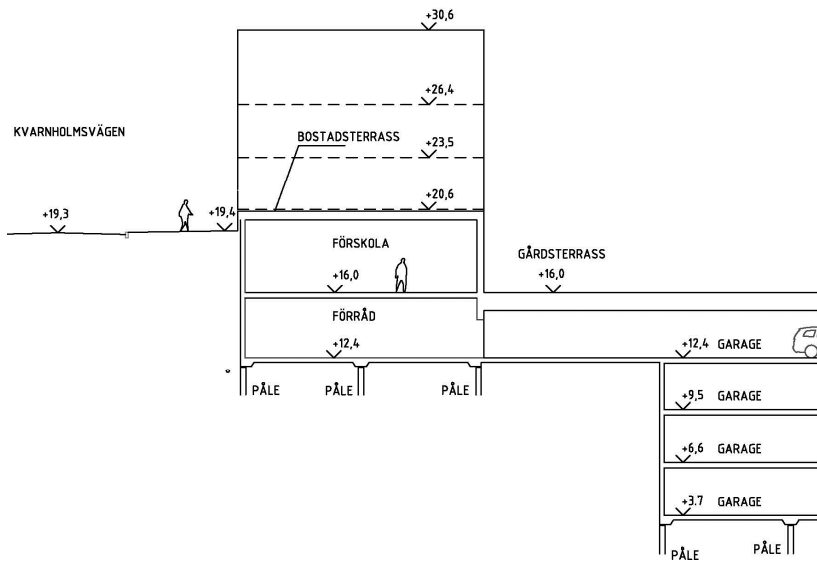
**Figur 2.** Konceptuell modell.

### 3. BYGGNADER

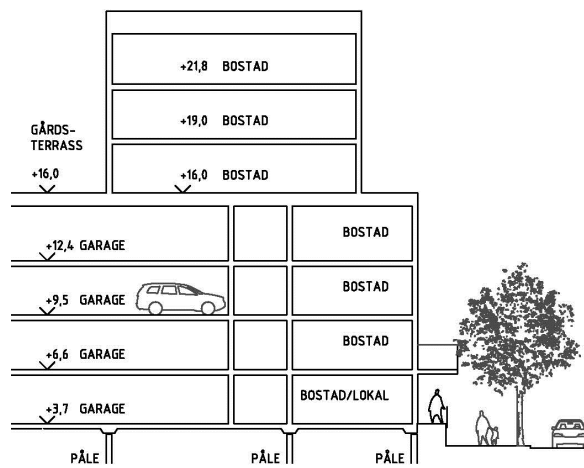
De planerade bostäderna redovisas i plan i figur 3, med markeringar för de sektioner som visas i figur 4a till 4c. Åtgärder mot ånginträngning är bara aktuellt för byggnader i område A, B och C. Byggnaderna i område A är trevåningshus med en gemensam bottenvåning, samt källargarage (totalt fyra våningar plus garage). Garaget breder ut sig söderut under gårdsterassen, vilket framgår av figur 4a. Notera att bottenvåningen är sammanhängande mellan de tre husen. I bottenvåningen planeras en förskola (figur 4a). Hus N5 och N6 i område A ligger delvis ovanpå källzonen i grundvatten och har därför störst potential för förhöjda halter av föroreningar från grundvattnet. Område B är beläget söder om gårdsterassen, ovanpå föroreningsplymen i grundvattnet och i närheten av källzonen. På grund av terrängens sluttning har de nedersta fyra våningarna bostäder med fönster mot gatan på den södra sidan och väggen på den norra sidan mot de underjordiska garage som finns på byggnadens norra sida, se figur 4b. Område C ligger i det planerade bostadsområdets södra del och vid havsnivå, vilket visas i figur 4c. De sydligaste delarna av byggnaderna i område C är pålade och belägna på kajen över vattenytan och är därför inte utsatta för ånginträngning förutom möjligen att luft kan blandas om i byggnaden från de norra delarna, där bottenplattan är belägen på en lägre nivå. Notera även att de nedre våningarna av de norra delarna av byggnaderna är under högsta högvattenyta och kan därmed tillfällig vara vid eller under grundvattenytan. Det antas att dränerande lager kommer att installeras under bottenplattorna.



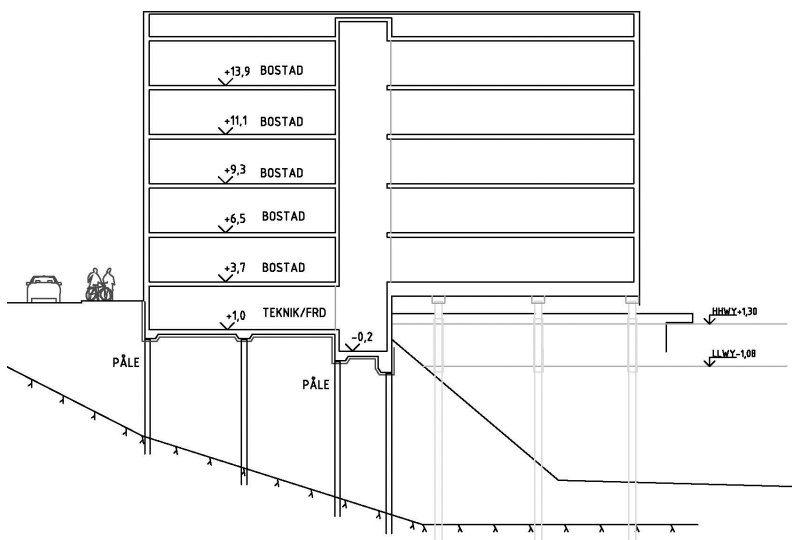
*Figur 3. Plan över den planerade byggnationen där husnummer, sektioner (1-3) samt indelning av områden (A-C) där tekniska skyddsåtgärder i byggnadskonstruktionen installeras.*



**Figur 4a.** Område A, delvis över källzon.



**Figur 4b.** Area B, över plym/randzon nära källzon.

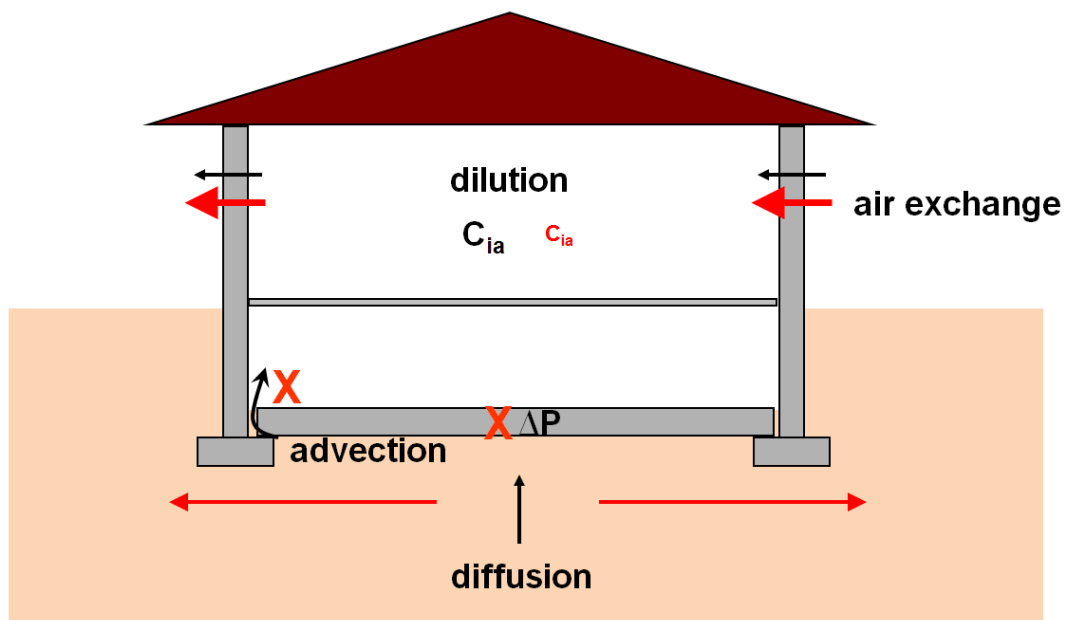


**Figur 4c.** Område C, över randzon/plym längre från källzon.

#### 4. KONCEPTUELL BESKRIVNING AV ÅNGINTRÄNGNING OCH TEKNISKA ÅTGÄRDER

Ånginträngning orsakas av diffusionsbaserad och/eller advektiv transport av föroreningar i ångfas i jord till ovanliggande bostadsutrymen. Föroreningskoncentrationer i inomhusluften styrs av källzonskoncentrationer, föroreningars transporthastighet genom matrisen (jord, berg etc.) under byggnaden, luftens flödes hastighet in i byggnaden, luftvolym och luftomsättning inne i byggnaden samt våningsplanens luftvolym (se svarta pilar i Figur 5). Åtgärder för att minska ånginträngningen innebär att en eller flera av dessa transportvägar och utspädningsmekanismer justeras på ett sådant sätt att koncentrationer inomhus minskar (se röda markeringar i Figur 5).

Den viktigaste platsen där ånginträngning kan reduceras (förutom sanering av källföroreningen) är vid husets botten-/golvplatta och ytterväggar under marknivå. Där kan transport in i byggnaden fysiskt förhindras genom att diffusionstäta och lågpermeabla barriärer installeras som även förhindrar transport vid rör genomföringar (**passiva barriärer**). En sådan åtgärd kan dock leda till ökade koncentrationer under byggnaden/barriären vilket inte är eftersträvanvärt. Placering av högpermeabla avluftningslager under plattan (**passiv ventilation**) kan förbättra och kontrollera den horisontella transporten av markluft och reducera ackumulering av koncentrationer under plattan som orsakas av passiva barriärer. Därför bör passiv ventilation alltid installeras under passiva barriärer.



**Figur 5.** Konceptuell beskrivning av ånginträngning i byggnader. Svarta symboler indikerar mekanismer som orsakar förhöjda inomhuskoncentrationer ( $C_{ia}$ ). Röda symboler illustrerar hur dessa mekanismer kan förhindras/reduceras genom olika åtgärdstekniker.



Passiv ventilation kan ske genom diffusion (driven av koncentrationsskillnader) eller advektion driven av tryckskillnader som induceras genom temperaturskillnader (s.k. skortenseffekt), vind vid utblåspunkter (Bernoulli-effekt) eller barometrisk tryckändringar. Dessa mekanismer kommer också till viss del att minska lufttrycket under plattan, och minska eller potentiellt vända tryckgradienten in i byggnaden. Högpermeabla genomsläppliga material (t.ex. artificiella system med stora öppna volymer) kommer att vara mer effektiva än material med låg (finsand) eller måttlig (grus) permeabilitet. Passiv ventilation kan förstärkas med system där man förstärker t.ex. skorstenseffekten vilket ingår i de möjliga system som redovisas för de aktuella byggnaderna.

Fördelarna med passiv ventilation kan förhöjas genom att mekaniskt avlägsna luft från avluftningslager med fläktar (**aktiv ventilering**), som minskar föroreningskoncentrationer under plattan genom ökad luftomsättning och ytterligare minskad eller omvänd tryckdifferential. När det primära syftet är att upprätthålla det negativa trycket under byggnaden, kallas detta ”**sub-slab depressurization**” (SSD). När det primära målet är utspädning av luft under plattan, kallas detta ”**sub-slab venting**” (SSV). Valet mellan SSD och SSV beror generellt på permeabiliteten hos det material (jord eller berg) som omger avluftningslagret. När lågpermeabla jordarter omger kan negativa tryck induceras i avluftningslagret med relativt små luftflöden, vilket gynnar SSD. Högpermeabla jordar medför istället högre luftflöden vid lägre negativa tryck, vilket gynnar SSV. Men i båda fallen kommer både tryckreduktion och luftflöde att bidra till att risken för att markluft tränger in i byggnaden minskar.

Tryckdifferenser kan också minskas eller vändas genom att säkerställa att inomhusluftens tryck är högre än utomhusluftens (under bottenplattan). Detta kräver en någorlunda tät byggnad och ett system (värme, ventilation och luftkonditionering) som balanseras för att upprätthålla ett positivt lufttryck (i intervallet 2 till 4 Pa). Byggnormer kräver ofta positiva lufttryck i kommersiella byggnader, men inte för bostadshus.

Slutligen kan inträngning av markluft elimineras genom att byggnaden höjs från marken och tillåter utomhusluft att fritt ventilera utrymmet mellan bottenplatta och mark. Byggnader upphöjda på pålar och/eller placering av garageplan utan väggar under bostadshus är vanliga exempel på detta tillvägagångssätt. Även underjordsgarage ger betydligt minskad risk för inträngning av markluft till bostadsdelen, eftersom ventilation krävs för att upprätthålla en säker kolmonoxidnivå i garaget och minska luktöligheter från fordon.

## 5. TEKNISKA ÅTGÄRDSALTERNATIV FÖR ATT REDUCERA ÅNGINTRÄNGNING

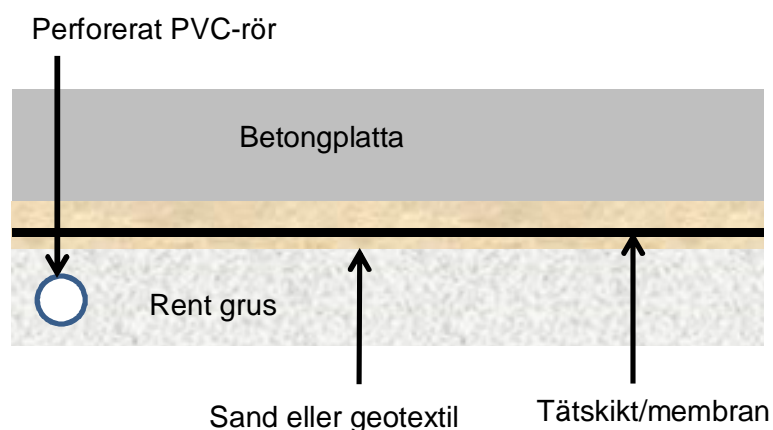
Följande avsnitt beskriver alternativa tekniska lösningar för skydd mot ånginträngning inklusive typiska produkter, begränsningar, kostnader m.m.

Notera att alla material för tätskikt och luftningslösningar är grundligt testade för att inte tillåta diffusiv transport av klorerade alifater genom materialet.

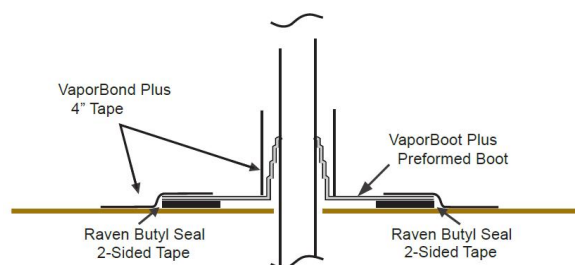
### 5.1 Passiva barriärer/tätskikt och luftningssystem

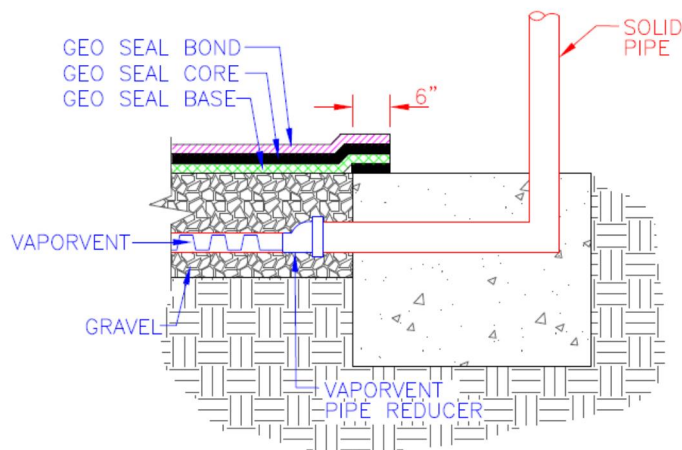
*Koncept och material för tätskikt:* Ångspärrar/tätskikt fungerar genom att fysiskt blockera flödet och/eller diffusionen av markluft in i en byggnad. Materialet som tätskiktet består av måste därför ha låg permeabilitet och diffusiv genomsläpplighet, vara relativt fritt från defekter och vara väl tätat mot bottenplattans kanter av samt vid rör genomföringar. När tätskikt används under bottenplattan är en viktig funktion att hindra ånginträngning via fogar och sprickor i plattan, eftersom att plattan i sig själv utgör en barriär som markluft måste ta sig förbi för att tränga in i byggnaden.

I de flesta fall består tätskikten av termoplaster eller elastiska flexibla membran eller bituminösa material som sprayas på markytan under en betongplatta. Vanliga sådana material innefattar polyetylen med låg densitet (LDPE), polyvinylklorid (PVC), polyetylen med hög densitet (HDPE) och gummimpregnerad emulsionsasfalt som sprayas på, t.ex. Liquid Boot® eller GeoSeal®. Alla dessa material är bevisat resistenta mot klorerade lösningsmedel i ångfas. Icke-vävda geotextilier eller sand placeras ofta mellan tätskiktet och betongen för att skydda tätskiktet från punktering under konstruktion (se figur 6). I många fall inkluderar egenutvecklade/patenterade skiktmaterial som VaporBlock® Plus™ 20 två eller fler laminerade material, för att förbättra tätskiktets egenskaper (t.ex. styrka, kemisk motståndskraft, bättre vidhäftning till betong). Cylinderfoder (eng. "Liner boots") används vanligen runt rör som går igenom tätskiktet (figur 7).



Figur 6. Exempel på passiva system.



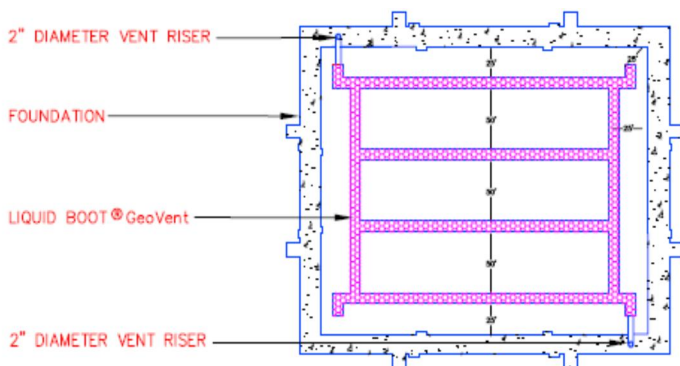


**Figur 7.** Exempel på ledning för uppsamling av markluft i ett gruslager. Läggs också märke till tätskiktet mot bottenplattan. Från "Land Science Technologies".

**Koncept och material för passiv ventilation:** Passiva ventilationssystem skapar en genomsläpplig väg för horisontell lufttransport under bottenplattan, oftast till vertikala stigarledningar genom vilka markluft avges till atmosfären ovanför byggnaden. Som ett minimum diffunderar molekyler mot stigarledningar på grund av koncentrationsgradienter. I de flesta system förs dock markluften bort även genom att ett luftflöde stimuleras i luftningslagret till följd av temperaturgradienter (skorstenseffekt) och genom att vind blåser ovanför stigarledningens topp (Bernoulli-effekt). Passiva ventilationssystem avleder föroreningar i ångfas runt byggnaden istället för in i den, och minskar också koncentrationen under bottenplattan. Passiva ventilationssystem är därför mindre sårbara för små läckor i ovanliggande bottenplattor än en passiv barriär utan ett avluftningslager.

Permeabelt rent grus är ett av de vanligaste passiva luftningsmaterialen, vanligtvis kombinerat med perforerade plaströr i gruslagret för att samla och leda markluft till stigarledningar, se figur 6. Den amerikanska standarden ASTM E1465-08 ger rekommendationer vad gäller kornstorleksfördelningar för grus samt konfigurationer för rör som leder luft (gäller också för höghus och kommersiella byggnader). Så kallade Geogrids eller liknande syntetiska kompositmaterial med större hålrum kan ersätta det perforerade röret alternativt hela gruslagret.

Band av syntetiskt kompositmaterial (Geogrids) med stora tomrum (t.ex. GEOVENT™, Cetco® eller Enkavent®, Colbond, Inc.) kan ersätta det perforerade röret eller alternativt hela gruslagret (figur 8). Dessa band, som oftast är ca 30-45 cm breda och 20-25 mm tjocka, är lättare att installera än perforerade rör.



**Figur 8.** Exempel på ett lager med utlagda band för uppsamling av gas/luft i ett gruslager. Från Cetco.

Vertikala grundmurar kan också ventileras genom att fylla med genomsläppligt material intill muren eller installera dräneringsmattor, som Delta®Drain eller Enkavent ®.

*Begränsningar:* Brister i ett tätskikt, inklusive hål eller revor, kan minska dess effektivitet i viss grad, beroende på var läckan uppstår. En nyckelfråga vid val av tätskiktsmaterial är därför dess förmåga att tåla konstruktionsarbete utan att få betydande skador. I allmänhet är tunnare material (t.ex. 0,01 till 0,02 mm polyeten eller ångbarriärsmaterial som används för fuktkontroll) mer benägna att skadas under konstruktion än tjockare tätskiktsmaterial, såsom 0,2 mm HDPE och flytande Boot® eller GeoSeal®, (som sprayas ut) eller tunnare men laminerade tätskiktsprodukter som är utformade för sådana applikationer, till exempel VaporBlock®Plus 20 (0,1 mm). För att förhindra transport av markluft med föroreningar i ångfas i kanterna av tätskiktet skall det vara monterat tätt mot alla grundmursytor som omgärdar bottenplattan (figur 7).

*Kostnader:* Kostnaden för tunnare tätskiktsprodukter som VaporBlock®Plus ligger normalt mellan ca 40 och 200 SEK/m<sup>2</sup> för inköp och installation, medan kostnaden för tjockare tätskikt och tätskikt som sprayas ut vanligtvis ligger mellan ca 240 och 400 SEK/m<sup>2</sup> för inköp och installation, exklusive kostnaden för underliggande avluftningsrör. Om rent genomsläppligt grus under plattan redan ingår i konstruktionen, är merkostnaden för avluftning begränsad till kostnaden för perforerade rör eller dräneringsmattor och stigarledningar. Kostnaden för perforerade rör och dräneringsmattor är relativt låg medan kostnaden för stigarledningar är specifik för varje byggnad men troligen i samma härad som kostnader för övriga (VA) ledningar. Dessa installeras vanligen av VVS-entreprenörer och/eller experter på radonlösningar.

*Prestanda:* De flesta termoplastiska och elastomeriska barriärmaterial är i huvudsak ogenomträngliga med mycket eller ingen molekylär diffusion genom materialet, även vid höga koncentrationsgradienter. Prestandan hos system med passiva barriärer styrs nästan helt av eventuella skador i tätskiktsmaterialet/produkten och dess skarvar, särskilt när dessa sammanfaller med fogar och/eller sprickor i betongen. Dåligt installerade, tunna tätskikt kan ha en begränsad effektivitet under bottenplattor, medan en väl installerad och robust tätskiktsprodukt med ett passivt ventilationssystem reducerar risken för ånginträngning i mycket hög grad.

*Andra överväganden:* En tätskiktsbarriär kan ge upphov till ökande koncentrationer av föroreningar i ångfas vilka då transporteras horisontellt under byggnaden. Den ökande koncentrationen ökar också den potentiella effekten av läckor i tätskiktet. Därför bör passiva barriärssystem alltid användas tillsammans med passiva avluftningssystem. Enda undantaget kan vara om mycket permeabla material förekommer under bottenplattan. Passiva ventilationssystem kan, om nödvändigt, konverteras till aktiva system utan större extrakostnader om systemet utformas på rätt sätt från början.

Tätskiktsbarriärer i flytande form som GeoSeal® och flytande Boot® behöver vanligen installeras av en av tillverkaren certifierad installationsentreprenör. De flesta andra produkter som VaporBlock®Plus™20 kan installeras av erfarna lokala entreprenörer som noggrant följer tillverkarens installations-anvisningar och rekommendationer

## 5.2 Aktiva ventilationssystem

*Begrepp och material:* Aktiva ventilationssystem drar luft från det permeabla luftningslagret, se ovan, m.h.a. elektriska fläktar eller ventilatorer. Detta resulterar i ett större och jämnare luftflöde än vad som kan uppnås med ett passivt system. Det aktiva systemet ger större och mer konstant utspädning av markluft med innehåll av flyktiga ämnen och minskar också lufttrycket under byggnaden. När lufttrycket under bottenplattan är lägre än lufttrycket i huset sker ett nettoflöde nedåt, ut från byggnaden, snarare än uppåt, in i byggnaden. Detta driftsläge kallas ”**sub-slab depressurization**” (SSD) och är ett av de mest effektiva sätten att kontrollera ånginträning (t.ex. US EPA, 1993). När det primära målet är utspädning av luft under plattan, kallas driftsläget ”**sub-slab venting**” (SSV).

Aktiva ventilationssystem använder samma utrustning/produkter som passiva system. Det som tillkommer är oftast endast fläktar. Val av fläkt beror på hur markluftens flöde svarar på tryckförändringar (dvs. systemets specifika kapacitet) som är en funktion av genomträngligheten av omgivande geologiska material (jord eller berg) och bottenplattans typ och beskaffenhet. Dessutom styr avluftningslagrets permeabilitet hur mycket energi/kraft som behövs för att suga upp luft och sprida ett undertryck under byggnaden. Högre permeabilitet innebär mindre fläktar och färre insugningsöppningar för SSV- eller SSD-system.

Ytterväggsventiler kan också ventileras aktivt, vanligtvis genom att applicera ett undertryck på överfallsröret. Detta kan kräva en backventil i slutet av röret för att upprätthålla ett undertryck samtidigt som vatten tillåts avrinna.

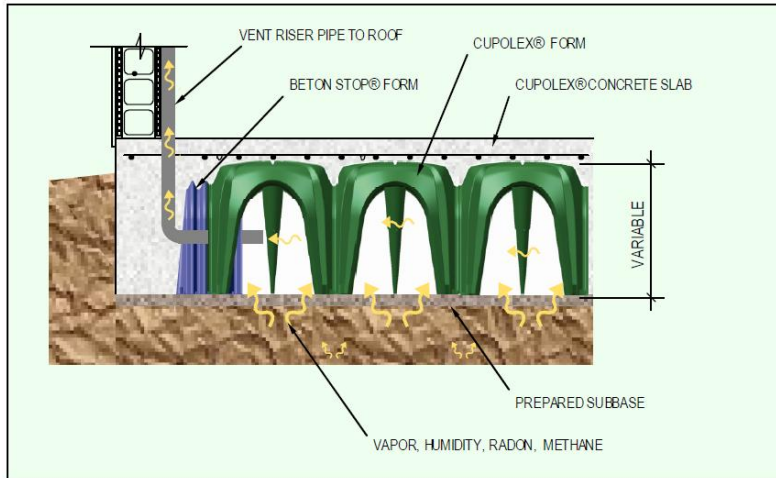
*Begränsningar:* Aktiva ventilationssystem har få begränsningar vad gäller nybyggnation. Dock krävs ett omättat (ovanför grundvattenytan) avluftningslager för att dessa system skall fungera. Förekomst av vatten i luftningslagret förhindrar luftrörelser. Det är därför viktigt med dräneringslösningar som säkerställer tillräcklig vattenavrinning. Den viktigaste begränsningen för ett fläktsystem är att det kräver underhåll och kontinuerlig övervakning. Sådan kontroll och övervakning kan i hög grad automatiseras, men det är ändå en nackdel givet att dessa system bör planeras för samma livslängd som huset.

*Kostnader:* Kostnader för SSD- eller SSV-system beror på vilka tätskiktsystem och avluftningsmaterial som används samt antalet insugningsöppningar och storleken/effekten på de fläktar som behövs för att omsätta luften och (för SSD) skapa undertryck under bottenplattan. Kostnader vid nybyggnation kan variera från ca 200 till 600 SEK per m<sup>2</sup> där lägre kostnader återspeglar enklare tätskikt och avluftningslager medan högre kostnader återspeglar mer robusta tätskiktslösningar och rent grus som avluftningslager.

*Prestanda:* SSD-system kan minska halterna i inomhusluften med mer än 99,9 % när de är väl utformade och installerade. Även SSV-system är mycket effektiva när tillräckligt luftflöde tillåts under bottenplattan.

### 5.3 Luftade/ventilerade golvsystem

*Koncept och material:* Ventilerade golvsystem, till exempel Cupolex®, är system som skapar ett kontinuerligt hålrum under den gjutna betongplattan som kan ventileras och sättas under undertryck/vakuum (figur 9). De sammankopplade plastformerna och betongen skapar en mycket tät barriär mot ånginträngning, medan hålrummet bildar en mycket effektiv transportväg för luft som kan ventileras bort. Ventilerade golvsystem fungerar på samma sätt som passiva och aktiva avluftningssystem men ersätter t.ex. grus med större och mer effektiva hålrum.

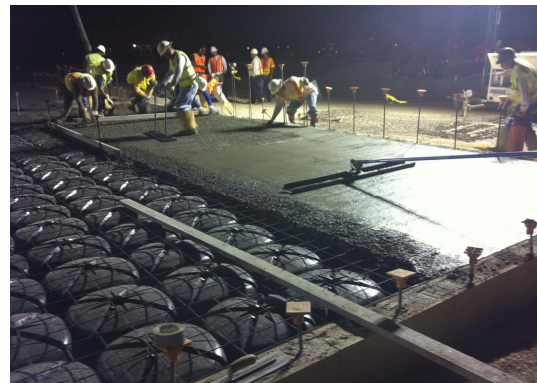


**Figur 9.** Cupolex® ventilerat golvsystem. Från Pontarolo Engineering, Inc.

Cupolex® formerna placeras på undergrunden, följt av armeringsjärn och betong (figur 10a, b). Den resulterande plattgeometrin som bestående av ett rätvinkligt rutnät av valv, är mycket starkare än en plan betongplatta eftersom valvgeometrin skapar kompression i stället för spänning vid belastning. I allmänhet kräver en Cupolex® platta mindre betong och armering än en plan betongplatta avsedd för samma belastning.



**Figur 10a.** Cupolex® former placeras ut under bottenplattan.

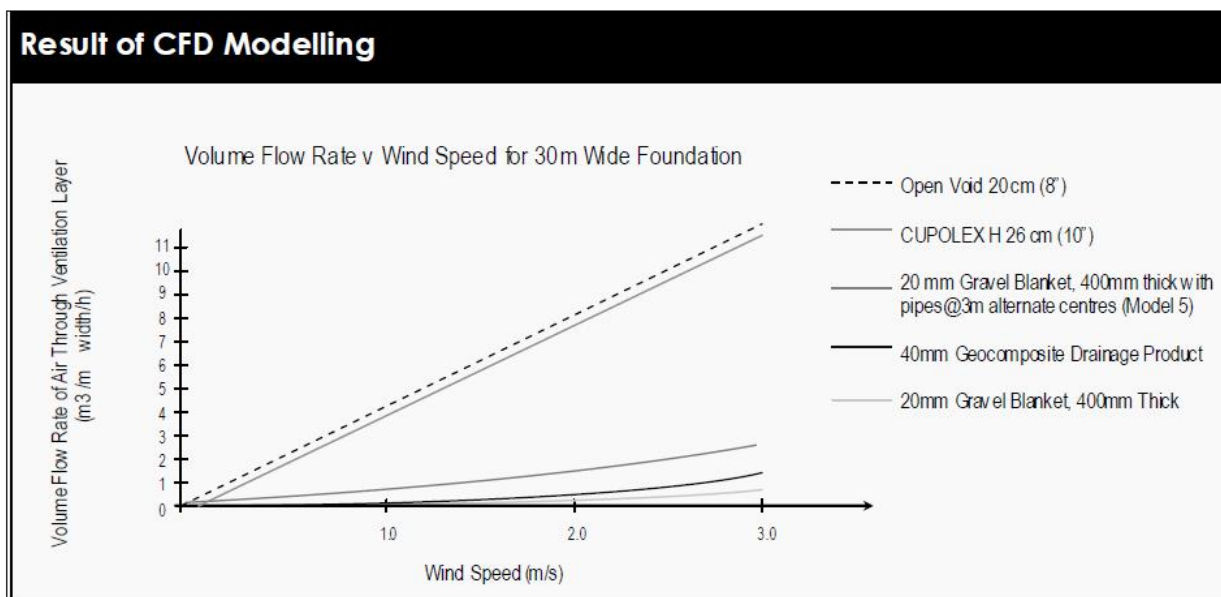


**Figur 10b.** Betong påförs över Cupolex®-formerna och armeringsjärnen.

**Begränsningar:** Cupolex® systemet fungerar på samma sätt som passiva och aktiva ventilationssystem men ersätter grus med mer genomsläppliga hålrum. De begränsningar som gäller för ventilationssystem gäller även för dessa system. Formerna är mer hållbara än flexibla tätskiktssystem och är mindre benägna att skadas under konstruktion.

**Kostnader:** Cupolex® formar kostar ca 200 SEK per m<sup>2</sup> för inköp och installation. Ofta innebär användning av dessa system att mängden betong, armeringsjärn och grus minskar vilket ger besparingar.

**Prestanda:** Forskning har visat att hålutrymmena tillåter cirka 10 gånger högre luftflöde än grus givet liknande förhållanden i övrigt (figur 11). Detta ger större utspädning och massförlust av föroreningar än traditionella tätskikts- och luftningssystem (med t.ex. grus). För passiva ventilationssystem används luftventiler för att öka luftens flödes hastighet inne i hålrummen. Passiv ventilation tillsammans med ett Cupolex® system har visat sig reducera föroreningskoncentrationer i ångfas med två tiopotenser vid installationer i USA (Folkes, 2012). Vid aktiv ventilation, har högt och jämnt undertryck upprätthållits med Cupolex® för upp till 2 000 m<sup>2</sup> stora ytor med endast en liten 20 watt radonfläkt.



**Figur 11.** Jämförelse av luftflöden genom Cupolex® hålvolym jämfört med dräneringsprodukter av grus och geokomposit. Efter Ove Arup, 1997.

**Andra överväganden:** Lokala entreprenörer kan normalt anlitas för installation av Cupolex® förutsatt att tillverkarens rekommendationer och rutiner följs. Teknisk support finns även från företaget i Italien. Produkten har använts i Europa och på andra håll i världen i ca 20 år.

## 6. REKOMMENDATIONER

### 6.1 Område A – Byggnader N5 OCH N6

De två bostadshusen inom område A återfinns i eller nära källzonen där de potentiellt högsta koncentrationerna av föroreningar i ångfas kan förekomma. Det är också denna källzon som skall saneras. Byggnaderna kommer att ha underjordiskt garage under bostadsdelen. Källaren och de första garageplanen kommer att vara sammanhängande mellan de två byggnaderna, med en förskola planerad i källarplan mellan byggnad N5 och N6 (se figur 4a).

Ventilation av de slutna garageplanen kommer troligen att innebära en betydande fördel vad gäller reduktion av ånginträngning, beroende på luftomsättningen för varje plan. Övertryck i ovanliggande byggnader relativt lufttryck i garagen skulle också ge ett extra skydd för ovanliggande bostäder. En sådan tryckskillnad kombinerat med garageventilation skulle sannolikt vara tillräcklig för att hindra ånginträngning ovanför garagenivån. Som ett försiktighetsmått bör ändå passiva tätskiktbarriärer installeras tillsammans med ett ventilationssystem för att begränsa inträngning av flyktiga ämnen till garaget. En passiv barriär utan avluftning rekommenderas inte eftersom koncentrationer av flyktiga ämnen då kan öka under garaget. En passiv ventilation kan enkelt konverteras till ett aktivt system vid behov.

Ett luftat golvsystem (t.ex. Cupolex®) kan vara det mest kostnadseffektiva alternativet eftersom detta kombinerar både tätskiktfunktionen och ventilationssystem i en produkt, samtidigt som denna typ av hålrum ger en betydligt effektivare (passiv) ventilation än exempelvis gruslager. Eventuellt kan fläktarna i parkeringsplanens ventilationssystem användas för att dra in luft från det ventilerade golvet för att på så sätt skapa ett aktivt/passivt hybridssystem med säker livslängd (eftersom garageventilationen alltid kommer att underhållas). Detta skulle minimera eller eventuellt eliminera behovet av stigarledningar som normalt krävs för passiva system.

Alternativt kan ett rent grusmaterial kombinerat med ett tätskiktssystem installeras (där det dyrare alternativet med tätskikt som sprayas på troligen inte är motiverat i detta fall). Ett nätverk av perforerade rör skulle krävas för att leda markluft till ett tillräckligt stort antal stigarledningar för att tillåta passiv ventilation av markluft som samlas under tätskiktet. Ventilationssystemet i garagen skulle även här kunna användas för att ventilerat luftningslagret, men det skulle troligen vara betydligt mindre effektivt än det ventilerade golvsystemet (p.g.a. av högre motstånd för luftflöde i gruset).

Det kan vara förnuftigt att utvidga de passiva barriär-/ventilationssystemen till utanför bostadshusens ”foot print” area, eftersom markluft med föroreningar i ångfas skulle kunna tränga in i de lägre garagenivåerna mellan byggnaderna och röra sig lateralt mot bostadshusen. Det skulle vara svårare att åtgärda detta efter att garagen är färdigbyggda om detta blir nödvändigt.



## 6.2 Area B – Byggnad M5 och M6

Område B och byggnaderna M5 och M6 återfinns på den södra sidan av gårdsterrassen, över grundvattensplymen och nära källzonen. De fyra nedersta planen på norra sidan av byggnad M5 är underjordiska garage, medan bostadsdelar återfinns på den södra sidan med fönster vända mot gatan i söder (figur 4b). De tre övre bostadsvåningarna är delvis belägna ovanför garaget.

Ett passivt tätskikts- och ventilationssystem rekommenderas under bostäder på den lägre nivån (södra sidan av byggnaden) som vid behov kan konverteras till ett SSD-system (genom att lägga till en eller flera fläktar). Ett luftat golvsystem (t.ex. Cupolex ®) är sannolikt mest effektivt för passiv ventilation p.g.a. det mycket effektiva avluftningslagret (hålrummen) och den skorstenseffekt som en sju våningar hög stigarledning ger upphov till. Alternativt kan det vara möjligt att använda ventilationssystemet i garagen för att dra luft från det luftade golvet som beskrivet för område A. Systemet bör även återfinnas under garage där dessa gränsar till bostäder..

Ett passivt tätskikts- och/eller ventilationssystem, som beskrivits för område A, är tillräckligt för återstoden av garaget bortom bottenarean för byggnad M5. Detta skulle minimera ackumulering av markluft under garaget och risken för påverkan på luft i garaget, något som skulle vara svårt att åtgärda efter byggnation.

## 6.3 Area C – Byggnad L4, L5, and L7

De första våningarna i de norra delarna av område C, hus L4 och L5, är delvis under marknivå, utan underliggande garage. Bottenplattan kan vara under högvattennivå. Det är därför troligt att ett dränerande lager installeras under vattentäta betongbottenplattor.

Om inträngande havsvatten resulterar i en ”lins” med grundvatten under dessa byggnader, så kommer inte riskreducerande åtgärder mot ånginträngning vara nödvändigt. Om detta inte kan förutsättas, så rekommenderas att luftutrymmet i dräneringslagret ventileras passivt enligt ovan beskrivna metoder (med möjlighet att omvandla till ett SSV- eller SSD-system om nödvändigt). Tillräcklig dränering för att ge minst periodvis ventilation bör tillåtas.